

ISSN 2302 – 5182



TEKNIK DESAIN MEKANIKA

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 11 • Nomor 1 • JANUARI • 2022 • Hal. 1640-1688

Program Studi Teknik Mesin – Fakultas Teknik
Universitas Udayana



Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362
Telp./Fax.: +62 361 703321
<http://www.mesin.unud.ac.id>



JITM-TDM

Volume 11

Nomor 1

Hal. 1640-1688

Badung, Januari 2022

ISSN 2302-5182

TEKNIK DESAIN MEKANIKA
Jurnal Ilmiah Teknik Mesin



Volume 11, Nomor 1, Januari 2022, Hal. 1640 – 1688

Penanggung Jawab

Koordinator Program Studi Teknik Mesin UNUD

Ketua Dewan Redaksi

Ir. I Nengah Suarnadwipa, M.T.

Redaksi Pelaksana/Tim Validasi

I Gede Teddy Prananda Surya, S.T., M.T.

I Made Astika, ST., M.Erg, MT

Ir. A. A Adhi Suryawan, MT

I Gede Putu Agus Suryawan, S.T, M.T.

Dr. Ir. I Gusti Ngurah Nitya Santhiarsa, MT

Dr. Ir. I Ketut Suarsana, MT

Ir. I Made Suarda, M. Eng.

Editor Ahli

Dosen-dosen di Program Studi Teknik Mesin
Universitas Udayana

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin **TEKNIK DESAIN MEKANIKA** diterbitkan oleh Program Studi Teknik Mesin - Universitas Udayana empat kali dalam setahun pada bulan Januari, April, Juli dan Oktober, berisi artikel hasil penelitian dan kajian teoritis-analitis di bidang Teknik Mesin. Dewan redaksi menerima tulisan yang belum pernah serta tidak sedang dipertimbangkan untuk diterbitkan atau dipublikasikan dalam media lain. Naskah diketik dalam Bahasa Indonesia atau bahasa Inggris dengan mengikuti pedoman yang dapat diunduh di halaman website Teknik Mesin UNUD atau web JITM-TDM.

Alamat Redaksi

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali 80362

Telp. / Fax.: 62 361 703321

E-mail: jitm_tdm@me.unud.ac.id; t_desain_mekanika@yahoo.co.id

Info JITM-TDM: www.mesin.unud.ac.id

Kata Pengantar

Puji syukur tercurahkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas terbitnya Jurnal Ilmiah Teknik Mesin – TEKNIK DESAIN MEKANIKA, Universitas Udayana volume 11 Nomor 1 Januari 2022 ini. Penerbitan jurnal ini bertujuan menyediakan media publikasi untuk hasil-hasil penelitian maupun kajian aplikasi di bidang Teknik Mesin, baik untuk peneliti di kalangan internal maupun eksternal kampus Universitas Udayana, baik dari kalangan mahasiswa maupun dosen.

Dewan redaksi mengucapkan terima kasih atas dukungan dan motivasi dari rekan-rekan di kampus serta pimpinan program studi dalam merealisasikan terbitnya jurnal ini. Dewan redaksi juga menyampaikan terima kasih atas partisipasi rekan-rekan peneliti yang mengirimkan naskahnya untuk dipublikasikan via Jurnal Teknik Mesin Universitas Udayana.

Dalam penerbitan JITM TEKNIK DESAIN MEKANIKA Volume 11 Nomor 1 ini, disajikan 8 artikel, dalam berbagai topik meliputi komposit, kontrol, material, mekanika fluida, dan pengkondisian udara.

Akhirnya, Dewan redaksi berharap semoga artikel-artikel dalam jurnal ini bermanfaat bagi pembaca dan memperkuat semangat untuk ikut dalam pengembangan ilmu dan teknologi terutama di bidang Teknik Mesin. Kami tunggu naskah-naskah untuk penerbitan berikutnya.

Dewan Redaksi

TEKNIK DESAIN MEKANIKA

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 11 • Nomor 1 • Januari 2022 • Hal. 1640 – 1688

Daftar Isi

Karakteristik Mekanik Komposit Serbuk Kayu Dengan Polymer Sintetis (Polyester Dan Epoxy) Amrullah Muttakin, C.I.P.K Kencanawati, Ketut Astawa	1640-1644
Rancang Bangun Sistem Fuzzy Logic Pada Pengendalian Suhu Dan Kelembaban Inkubator Bayi Haris Rizal Pambudi, W. Widhiada, W. Bandem Adnyana	1645-1649
Studi Eksperimental Karakteristik Tekanan Kapiler Pada Material Pad Hasil Aktivasi Bambu Betung Tanpa Holding Time Reinhard Aditya Noversan Sihombing, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa	1650-1655
Mikrokontroler Sistem Hybrid Untuk Pengaturan Suhu Dan Kelembaban Inkubator Bayi Andrian Indra Pranata, W. Widhiada, W. Bandem Adnyana	1656-1662
Laju Aliran Massa Fluida Pada Material Karbon Bambu Betung Dengan Variasi Temperatur Karbonisasi 400, 500, 600, 700, Dan 800 °c Alvin Dio Hutagalung, Hendra Wijaksana dan IG. Teddy Prananda Surya	1663-1669
Analisis Aliran Udara Di Sekitar Truk Pickup Yang Dipasangi Terpal Di Bagian Bak Menggunakan Cfd Fadhil Bhyantarah Nugraha, Anak Agung Adhi Suryawan, Dan Ainul Ghurri	1670-1677
Analisis Karakteristik Bahan Alam Sebagai Adsorben Pada Pengkondisian Udara Adsorpsi Aqsal Raja Bramastha, Made Sucipta, Hendra Wijaksana	1678-1682
Studi Eksperimental Karakteristik Kerja Kapiler Material Karbon Aktif Bambu Betung Tanpa Holding Time I Gede Wahyu Wiwekanyana, Hendra Wijaksana, I Gusti Ngurah Putu Tenaya	1683-1688

Karakteristik Mekanik Komposit Serbuk Kayu Dengan Polymer Sintetis (Polyester Dan Epoxy)

Amrullah Muttakin, C.I.P.K Kencanawati, Ketut Astawa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penggunaan bahan dasar kayu untuk memenuhi kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat mengakibatkan semakin banyaknya limbah kayu yang dihasilkan. Limbah kayu jati berupa serbuk yang dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan dasar pembuatan komposit untuk meningkatkan nilai guna dari serbuk tersebut. Penelitian ini bertujuan mengetahui karakteristik mekanik dari komposit serbuk kayu dengan campuran polimer sintetis (polyester dan epoxy). Komposit serbuk kayu menggunakan fraksi massa 5% : 95%, 10% : 90%, 15% : 85% dalam jenis resin yaitu polyester dan epoxy. Dilaksanakan dua pengujian dalam penelitian ini yakni, uji impact mengacu standar ASTM D256 dan pengujian daya serap air mengacu pada standar ASTM D570-98. Hasil uji impact dari spesimen komposit serbuk kayu dengan matriks resin epoxy pada fraksi massa 15%:85% mempunyai kekuatan impact terbesar dengan nilai 0,0112 Nm/mm². Hasil uji daya serap air pada spesimen komposit serbuk kayu dengan matriks resin epoxy didapatkan nilai serapan terendah dengan nilai 0,67% pada fraksi massa 15%:85%

Kata kunci : serbuk kayu jati, komposit, uji impact, uji serap air, polyester, epoxy

Abstract

The use of wood as basic materials to meet the increasing needs of the community has resulted in more wood waste being produced. Teak wood waste in form of powder can be reused as a basic material for making composites to increase the value of the powder. This study aims to determine the mechanical characteristics of wood powder composites with synthetic polymers (polyester and epoxy). Wood sawdust composites used a mass fraction variation of 5% : 95%, 10% : 90%, 15% : 85% in the type of resin, namely polyester and epoxy. The tests carried out are impact tests referring to the ASTM D256 standards and water absorption tests referring to the ASTM D570-98 standards. The results of the impact test of the wood powder composite specimen with an epoxy resin matrix at a mass fraction of 15% : 85% had the greatest impact strength with a value of 0,0112 Nm/mm². The results of water absorption test on wood powder composite specimens with an epoxy resin matrix obtained the lowest absorption value with a value of 0,67% at a mass fraction of 15% : 85%.

Keywords : teak powder, composite, impact test, water absorption test, polyester, epoxy, synthetic polymer

1. Pendahuluan

Gaya hidup dan ketertarikan yang semakin meningkat akan furnitur pada masyarakat, mendorong pertumbuhan usaha dibidang perkerajinan akibat membludaknya permintaan pasar. Terkhusus Bali, dengan khas arsitektur pada furnitur yang terkenal, turut banyak berkontribusi pada tumbuh kembang industri pengolahan kayu. Semakin banyak industri perkerajinan dan tingginya permintaan pasar, berbanding lurus dengan limbah yang dihasilkan. Serbuk kayu merupakan salah satu produk limbah yang dihasilkan selama pengerjaan kayu seperti, proses potong dan perataan sisi pada kayu. Serbuk kayu sampai saat ini memiliki nilai ekonomi yang relative rendah, sebab hanya dimanfaatkan untuk pupuk dan bahan tanam. Meningkatkan nilai ekonomi dan manfaat dari serbuk kayu menjadi topik dalam beberapa penelitian, seperti menjadikan serbuk kayu sebagai penguat dalam pembuatan komposit.

Diharapkan pemanfaatan limbah serbuk kayu menjadi penguat dalam pembuatan komposit sebagai

salah satu cara yang dapat dilaksanakan untuk mendapatkan suatu bahan pengganti kayu itu sendiri. Dalam penelitian ini, dilaksanakan pencampuran antara serbuk kayu untuk penguat dengan dua jenis polimer sintetis yaitu, resin polyester dan resin epoxy. Untuk mendapatkan karakteristik mekanik dari komposit serbuk kayu dengan campuran polimer sintetis, dilaksanakan beberapa pengujian. Dilaksanakan pengujian berupa uji kekuatan impact dan uji ketahanan daya serap air. Pengujian kekuatan impact dilaksanakan guna mengetahui ketahanan material komposit terhadap beban kejut diperoleh material komposit, dan uji daya serap air dilaksanakan guna mengenal kemampuan material komposit saat menyerap air. Diakhir penelitian, dilaksanakan perbandingan dari data masing-masing pengujian yang didapat dari komposit serbuk kayu dengan polimer sintetis polyester dan komposit serbuk kayu dengan polimer sintetis epoxy.

2. Landasan Teori

2.1 Komposit

Komposit adalah sebuah material baru yang didapat dari hasil kombinasi antara dua material atau lebih, dimana setiap masing-masing material pembentuknya memiliki sifat mekanik yang berbeda, dicampur dengan kadar tertentu. Material pembentuk dari komposit menentukan sifat dan karakteristik dari komposit, dilihat secara strukturmikro material pembentuknya tidak mengalami perubahan, tetapi material pembentuknya secara keseluruhan sangat berbeda dari material komposit, hal itu dikarenakan terjadinya ikatan antar permukaan matriks dan penguat. Material komposit dikategorikan menjadi tiga jenis berdasarkan jenis penguatnya, antara lain komposit serat, komposit partikel, komposit struktural [1].

2.2 Serbuk Kayu

Serbuk kayu ialah suatu bahan atau material yang umumnya biasa dikategorikan dalam limbah, didapat saat pengerjaan material kayu. Pengerjaan kayu seperti pemotongan, penghalusan, hingga pengukiran menghasilkan limbah kayu yaitu serbuk kayu. Limbah serbuk kayu secara mendasar hanya diperuntukkan sebagai media tanam. Karena dapat mengganggu sistem pada area pernapasan, serbuk kayu dikatakan menjadi limbah yang berbahaya.

2.3 Resin Polyester

Resin polyester adalah salah satu matriks jenis polimer sintetik yang tergolong dalam jenis termoset. Resin polyester ini bewujud sebuah cairan yang mempunyai viskositas rendah dan dengan penggunaan katalis dapat mengering pada suhu ruangan, tidak mengeluarkan gas pada waktu proses pecampuran, sehingga tidak memerlukan tekanan dalam proses pencetakan [2].

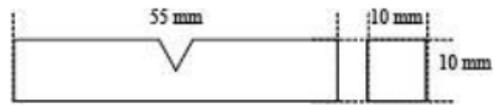
2.4 Resin Epoxy

Resin epoxy termasuk dalam golongan termoset yang merupakan jenis salah satu matriks polimer sintesis sama halnya dengan resin polyester. Berbagai bidang seperti kimia, mekanik, listrik, maupun sipil banyak menggunakan resin epoxy. Dalam pembuatan cetakan tekan untuk produksi logam, banyak digunakan resin jenis ini, karena mempunyai sifat tahan kejut dan tahan aus, sifat listrik yang baik, sifat daya akan bahan kimia dan stabilitas dimensi yang baik, kuat, serta baik dalam daya rekat pada logam dan kaca [3]. Resin epoxy mempunyai tingkat viskositas yang cukup rendah dan dengan menggunakan katalis dapat mengering pada suhu kamar, tidak menghasilkan gas pada waktu pecampuran sama halnya dengan resin polyester.

2.5 Uji Impact

Uji impact adalah proses uji pada suatu material yang dikerjakan untuk mengukur ketahanan

bahan terhadap pembebanan kejut atau pembebanan cepat. Pada perhitungan kekuatan impact menggunakan standar pengujian ASTM D256.



Gambar 1. dimensi spesimen uji impact

Untuk rumus yang digunakan sesuai standar ASTM D256 adalah :

Energi awal
 $E_0 = W \cdot h_1 = W \cdot l (1 - \cos \alpha)$ (1)

Energi akhir
 $E_1 = W \cdot h_2 = W \cdot l (1 - \cos \beta)$ (2)

Energi yang diserap
 $\Delta E = E_0 - E_1$ (3)

Keterangan Rumus:

- W = Berat dari bandul (N)
- α = Sudut awal
- β = Sudut akhir
- h_1 = Tinggi awal bandul (m)
- h_2 = Tinggi akhir bandul (m)
- l = Lengan bandul (m)

Untuk kekuatan impact memiliki rumus berikut :

$I_s = \frac{\Delta E}{A}$ (4)

Keterangan :

- I_s = Kekuatan impact (Nm/mm²)
- ΔE = Energi yang diserap (Nm)
- A = Luas alas (mm²)

2.6 Uji Daya Serap Air

Pengujian daya serap air adalah proses uji yang dilaksanakan pada suatu bahan guna mengukur kemampuan bahan dalam menyerap cairan dalam tenggat waktu yang ditentukan. Udara lembab menghasilkan cairan yang dapat diserap oleh komposit, sehingga menimbulkan masalah ketahanan produk terutama penggunaan luar ruangan.



Gambar 2. Dimensi spesimen uji daya serap air

Dalam menghitung daya serap air digunakan rumus yang sesuai standar ASTM D570-98 sebagai berikut :

$W_{abs} (\%) = \frac{W_a - W_o}{W_o}$ (5)

Keterangan rumus:

- W_{abs} = Daya serap air (%)
- W_a = Massa basah spesimen (gram)
- W_o = Massa kering spesimen (gram)

3. Metode Penelitian

3.1 Alat Penelitian

Dalam proses pembuatan material komposit sampai proses uji menggunakan beberapa peralatan, yakni :

1. Alat pencetakan : cetakan yang dibentuk dari kertas aluminium yang melapisi kayu dengan standar ukuran ASTM digunakan untuk mencetak komposit.
2. Alat uji : alat uji impact digunakan untuk menguji kekuatan impact.
3. Alat ukur : alat ukur yang digunakan berupa thermometer, gelas, timbangan digital, stopwatch , dan jangka sorong.
4. Alat K3 : selama penelitian menggunakan masker dan sarung tangan karet sebagai alat K3.
5. Alat bantu : pengayak, kertas aluminium, alat pengaduk, gelas plastik, dan gunting.

3.2 Bahan

Dalam pembuatan komposit serbuk kayu terdapat beberapa bahan yang digunakan antara lain sebagai berikut :

1. Matriks : Resin polyester dan resin epoxy
2. Penguat : Limbah serbuk dengan ukuran 2 mm yang didapat melalui sisa produksi pada beberapa industri pengolahan kayu

3.3 Alur Pencetakan Komposit Serbuk Kayu Dengan Polimer Sintetis

Komposit serbuk kayu dicetak dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Merakit kayu dengan lapisan aluminium foil yang digunakan sebagai cetakan, dengan ukuran sesuai standar ASTM.
 - a. Impact
P = 55 mm
L = 10 mm
T = 10 mm
 - b. Daya serap air
P = 76,2 mm
L = 24,5 mm
T = 3,2 mm
2. Melakukan pencampuran pada resin polyester serta resin epoksi
3. Serbuk kayu dan polimer sintetis ditakar dengan perbandingan serbuk kayu : polimer sintetis yaitu 5%:95% ; 10%:80% ; 15%:85%.
4. Serbuk kayu dan polimer sintetis dicampur dengan cara diaduk hingga merata.
5. Hasil antara serbuk kayu dengan polimer sintetis yang sudah diaduk merata, dituangkan kedalam cetakan yang terlapis aluminium foil.
6. Tunggu spesimen sampai kering, selanjutnya spesimen dikeluarkan dari cetakan secara perlahan.

7. Proses sebelumnya diulang kembali sesuai dengan fraksi massa yang ditentukan hingga semua spesimen siap di uji.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Uji Impact

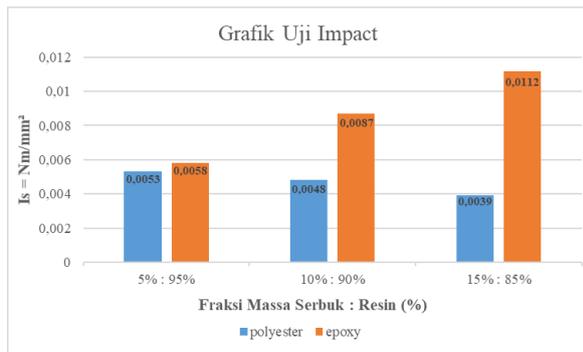
Pengujian impact komposit serbuk kayu dengan polimer sintetis menggunakan tiga spesimen setiap fraksi massa dan jenis polimer yang digunakan. Standar uji impact yang digunakan adalah ASTM D256.

Tabel 1. Hasil Uji Impact Komposit dengan Resin Polyester

Spesimen Komposit dengan Resin Polyester	Hasil Uji Impact						
		α (°)	β (°)	E0 (Nm)	E1 (Nm)	ΔE (Nm)	Is (Nm/mm ²)
Fraksi massa serbuk : resin	A	150	146	21,459	21,034	0,425	0,0053
	B	150	146	21,459	21,034	0,425	0,0053
5% : 95%	C	150	146	21,459	21,034	0,425	0,0053
Rata-rata							0,0053
Fraksi massa serbuk : resin	A	150	146	21,459	21,034	0,425	0,0053
	B	150	147	21,459	21,145	0,314	0,0039
10% : 90%	C	150	146	21,459	21,034	0,425	0,0053
Rata-rata							0,0048
Fraksi massa serbuk : resin	A	150	147	21,459	21,145	0,314	0,0039
	B	150	147	21,459	21,145	0,314	0,0039
15% : 85%	C	150	147	21,459	21,145	0,314	0,0039
Rata-rata							0,0039

Tabel 2. Hasil Uji Impact Komposit dengan Resin Epoxy

Spesimen Komposit dengan Resin Epoxy	Hasil Uji Impact						
		α (°)	β (°)	E0 (Nm)	E1 (Nm)	ΔE (Nm)	Is (Nm/mm ²)
Fraksi massa serbuk : resin	A	150	146	21,459	21,034	0,425	0,0053
	B	150	145	21,459	20,92	0,539	0,0067
5% : 95%	C	150	146	21,459	21,034	0,425	0,0053
Rata-rata							0,0058
Fraksi massa serbuk : resin	A	150	144	21,459	20,804	0,655	0,0082
	B	150	144	21,459	20,804	0,655	0,0082
10% : 90%	C	150	143	21,459	20,684	0,775	0,0097
Rata-rata							0,0087
Fraksi massa serbuk : resin	A	150	143	21,459	20,684	0,775	0,0097
	B	150	142	21,459	20,562	0,897	0,0112
15% : 85%	C	150	141	21,459	20,437	1,022	0,0128
Rata-rata							0,0112



Gambar 3. Grafik Hasil Uji Impact

Dari data grafik pengujian impact pada komposit serbuk kayu dengan polymer resin polyester variasi fraksi massa 5% : 95% memiliki rata-rata nilai kekuatan impact sejumlah 0,0053 Nm/mm², selanjutnya variasi fraksi massa 10% : 80% memiliki rata-rata kekuatan impact sejumlah 0,0043 Nm/mm², dan variasi fraksi massa 15%:85% memiliki rata-rata kekuatan impact sejumlah 0,0039 Nm/mm². Pada komposit serbuk kayu dengan polymer resin epoxy variasi fraksi massa 5% : 95% memiliki rata-rata nilai kekuatan impact sejumlah 0,0058 Nm/mm², selanjutnya dengan variasi fraksi massa 10% : 90% memiliki rata-rata kekuatan impact sejumlah 0,0087 Nm/mm², dan variasi fraksi massa 15%:85% memiliki rata-rata kekuatan impact sejumlah 0,0112 Nm/mm². Dapat dilihat bahwa komposit serbuk kayu dengan polymer resin epoxy pada fraksi massa 15%:85% memiliki nilai kekuatan impact tertinggi dengan nilai rata-rata 0,0112 Nm/mm² dan komposit serbuk kayu dengan polymer resin polyester pada fraksi massa 15%:85% memiliki rata-rata kekuatan impact terendah sejumlah 0,0039 Nm/mm².

Hasil pengujian impact menunjukkan perbedaan yang signifikan dari jenis polymer sintetis yang digunakan. Komposit dengan resin polyester mengalami penurunan secara beruntun seiring berkurangnya resin yang digunakan sedangkan komposit dengan resin epoxy mengalami peningkatan beruntun seiring berkurangnya resin yang digunakan. Terjadinya ikatan yang baik antara penguat dan matriks membuat komposit mampu meneruskan beban dengan baik sehingga lebih banyak energy yang diserap dan menerima beban kejut yang lebih tinggi. Terbentuknya ikatan yang baik antara penguat dan matriks terjadi pada proses pencampuran antara serbuk kayu dan resin yang digunakan.

4.2 Uji Daya Serap Air

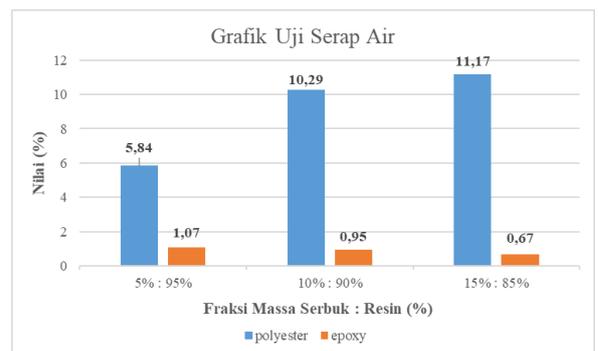
Uji daya serap air (water absorption) dilaksanakan guna mengetahui berapa besaran kapasitas spesimen untuk menyerap air dalam kurun waktu 24 jam dengan menggunakan ASTM D570-98. Pengujian daya serap air menggunakan tiga sampel spesimen pada setiap fraksi massa dan jenis resin.

Tabel 3. Hasil Uji Serap Air Komposit dengan Resin Polyester

Fraksi Massa Serbuk : Resin Polyester	Massa Kering (gram)	Massa Basah (gram)	Wabs (%)	
5% : 95%	A	12,53	13,24	5,67
	B	12,67	13,4	5,76
	C	12,18	12,92	6,08
Rata-rata water absorption (%)			5,84	
10% : 90%	A	12,27	13,55	10,43
	B	11,83	13,01	9,97
	C	10,52	11,62	10,46
Rata-rata water absorption (%)			10,29	
15% : 85%	A	10,25	11,44	11,61
	B	11,01	12,22	10,99
	C	9,62	10,67	10,91
Rata-rata water absorption (%)			11,17	

Tabel 4. Hasil Uji Serap Air Komposit dengan Resin Epoxy

Fraksi Massa Serbuk : Resin Epoxy	Massa Kering (gram)	Massa Basah (gram)	Wabs (%)	
5% : 95%	A	7,02	7,09	1
	B	7,28	7,37	1,24
	C	8,15	8,23	0,98
Rata-rata water absorption (%)			1,07	
10% : 90%	A	7,24	7,32	1,1
	B	7,46	7,52	0,8
	C	7,45	7,52	0,94
Rata-rata water absorption (%)			0,95	
15% : 85%	A	7,29	7,34	0,69
	B	8,23	8,29	0,73
	C	8,45	8,5	0,59
Rata-rata water absorption (%)			0,67	



Gambar 4. Grafik Uji Serap Air

Dari data grafik pengujian impact pada komposit serbuk kayu dengan polymer resin polyester variasi fraksi massa 5% : 95% memiliki rata-rata nilai daya serap air sejumlah 5,84%, selanjutnya fraksi massa 10% : 90% memiliki rata-rata nilai daya serap air sejumlah 10,29%, dan fraksi massa 15%:85% memiliki rata-rata nilai daya serap air sejumlah 11,17%. Sedangkan komposit serbuk kayu dengan polymer resin epoxy variasi fraksi massa 5% : 95% memiliki rata-rata nilai daya serap air sebanyak 1,07%, selanjutnya fraksi massa 10% : 90% mempunyai nilai daya serap air dengan rata-rata sebanyak 0,67%. Dari data tersebut, komposit dengan polymer resin epoxy dengan fraksi massa 15%:85% mempunyai rata-rata daya serap air terkecil dibandingkan dengan fraksi massa 5% : 95%, 10% : 80%, serta komposit dengan polymer resin polyester fraksi massa 5% : 95%, 10% : 90%, dan 15% : 85%. Sedangkan komposit dengan polymer resin polyester dengan fraksi massa 15%:85% mempunyai daya serap air terbesar yaitu 11,17% dibandingkan dengan semua fraksi massa dan komposit dengan polymer resin epoxy lainnya.

Nilai daya serap air ini dipengaruhi oleh jenis resin dan jumlah resin yang digunakan pada komposit serbuk kayu ini, semakin banyaknya resin polyester yang digunakan mengakibatkan tingkat kerapatan semakin tinggi dikarenakan makin banyaknya rongga-rongga kecil yang dapat diisi oleh resin tersebut. Berbanding terbalik dengan banyaknya resin epoxy yang digunakan mengakibatkan tingkat kerapatan semakin rendah karena terdapat campuran hardener pada resin epoxy yang berpengaruh terhadap rongga-rongga kecil pada bahan yang dihasilkan sehingga semakin banyak campuran hardener resin epoxy yang digunakan maka semakin meningkatnya daya serap air pada bahan.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Berlandaskan pembahasan yang merupakan hasil penelitian diatas yang telah dilaksanakan tentang komposit serbuk kayu dengan polymer sintetis (resin polyester dan resin epoxy) dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari proses uji impact yang diberlakukan pada spesimen komposit serbuk kayu dengan polymer sintetis (resin polyester dan resin epoxy) didapatkan nilai kekuatan impact tertinggi pada variasi fraksi massa resin epoxy 15% : 85% dengan nilai 0,0112 Nm/mm², sedangkan nilai kekuatan terendah komposit pada variasi fraksi massa resin polyester 15% : 85% dengan hasil rata-

rata kekuatan impact sejumlah 0,0039 Nm/mm².

2. Hasil pengujian daya serap air memperlihatkan komposit dengan resin epoxy pada fraksi massa 15%:85% menghasilkan nilai daya serap air paling rendah dengan nilai rata-rata sebesar 0,67% dan komposit dengan resin polyester pada fraksi massa 15%:85% menghasilkan nilai daya menyerap air tertinggi dengan nilai rata-rata sebesar 11,17%.

Daftar pustaka

- [1] Callister, William, D. Jr., David, G. Rethwisch., (2010). *Materials Science and Engineering An Introduction, Eight Edition*. John Wiley & Sons. Inc.
- [2] Subadra, I Nengah., I N. P. Nugraha., K. Rihendra, Dantes. (2018). *Analisis Kekuatan Impact Komposit Matrix Polyester Berpenguat Serat Rami Dengan Perlakuan Alkali 0%, 5%, 10%, 15% NaOH Untuk Bodi Kendaraan Ganesha Sakti*. JJTM, Vol 6 No. 2, Agustus. Universitas Pendidikan Ganesha.
- [3] Salam, Syahrul. (2007). *Studi Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Matriks Resin Epoxy Yang Diperkuat Dengan Serbuk Titinia (TiO₂)*. Universitas Negeri Malang.



Amrullah Muttakin menyelesaikan studi SMK di SMK Negeri 1 Kuta Selatan pada tahun 2014 dan melanjutkan studi S1 di Universitas Udayana pada Program Studi Teknik Mesin, serta menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada tahun 2022.

Bidang penelitian yang diminati seputar polimer komposit.

Rancang Bangun Sistem Fuzzy Logic Pada Pengendalian Suhu Dan Kelembaban Inkubator Bayi

Haris Rizal Pambudi, W. Widhiada, W. Bandem Adnyana
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Usia kehamilan adalah sesuatu yang mempengaruhi daya tahan anak yang akan datang dan sifat hidupnya. Kehamilan dianggap cukup jika berlangsung antara 37-41 minggu yang ditentukan dari hari pertama haid pada hari ke-28 siklus. Bila terjadi persalinan sebelum mencapai usia kandungan 37 minggu maka persalinan tersebut dikatakan prematur. Oleh karena itu, bayi prematur harus dalam penanganan yang baik agar kualitas hidup bayi bisa lebih optimal. Dengan itu diperlukan inkubator bayi yang dapat mengontrol kestabilan suhu dan kelembaban. Untuk mengontrol suhu dan kelembaban di inkubator diperlukan mikrokontroler Arduino Mega 2560, Arduino Uno, sensor LM35, sensor DHT22 dan penambahan kontrol fuzzy logic. Menggunakan parameter suhu dengan set point 36°C dan kelembaban dengan range RH 60-80%. Dengan target suhu signal error pada sistem $\leq 5\%$ dan suhu maximum overshoot sistem $\leq 5\%$. Hasil dari penelitian ini didapatkan signal error rata-rata = 0,135% dan maximum overshoot = 0,834% pada pengujian tanpa beban. Didapatkan signal error rata-rata = 1,757% dan maximum overshoot = 1,052% pada pengujian dengan beban 2 Kg.

Kata kunci: Bayi Premature, Inkubator Bayi, Kontrol Suhu, Fuzzy Logic

Abstract

Gestational age is something that can influence the endurance of the embryo and its personal satisfaction. By and large, a pregnancy that is thought of as adequate assuming it keeps going between 37-41 weeks is determined from the main day of the keep going feminine period on the 28th day of the cycle. Meanwhile, if the delivery occurs before the gestational age reaches 37 weeks, the delivery is called premature. Thus, untimely children should be dealt with appropriately so their personal satisfaction can be more ideal. We need infant incubator to control the stability of temperature and humidity. To control temperature and mugginess in inkubator required Arduino Mega 2560 microcontroller, Arduino Uno, LM35 sensor, DHT22 sensor and added fuzzy logic. Using temperature parameters with a set point of 36°C and humidity with an RH range of 60-80%. With the target temperature signal error on the system $\leq 5\%$ and the maximum system overshoot temperature $\leq 5\%$. The results of this study obtained an average signal error = 0.135% and a maximum overshoot = 0.834% in the no-load test. The average signal error = 1.757% and maximum overshoot = 1.052% in the test with a load of 2 Kg.

Keyword: Prematur Baby, Infant Incubator, Temperature Control, Fuzzy logic

1. Pendahuluan

Usia kehamilan merupakan hal yang dapat mempengaruhi daya tahan calon bayi dan hidupnya. Umumnya, kehamilan dianggap cukup jika berlangsung antara 37-41 minggu, ditentukan dari hari pertama haid selesai pada hari ke-28 siklus. Sementara itu, jika persalinan terjadi sebelum usia kehamilan mencapai 37 minggu, maka persalinan disebut prematur. Evaluasi yang tepat terhadap angka kelahiran prematur tidak dapat diakses di Indonesia. Angka kelahiran prematur dan angka kematian bayi baru lahir dini di Indonesia masih cukup tinggi. Indonesia menempati posisi 10 besar dari 184 negara dengan frekuensi kelahiran bayi prematur yang tinggi, khususnya 15,5 kelahiran premature per 100 kelahiran hidup. Dilihat dari jumlah anak yang dilahirkan secara premature, Indonesia merupakan salah satu dari negara kelima dengan jumlah bayi prematur terbanyak di dunia, yaitu 675.700 anak (WHO, 2014). Dari segi jumlah kematiannya, Indonesia menempati urutan ketujuh dari sepuluh negara dengan jumlah kematian balita yang tidak

terhitung jumlahnya, yang berjumlah 25.800 passing. (UCFS, 2014) [1].

Ada 3 tiga klasifikasi prematur, yaitu *extremely preterm* (lahir kurang dari 28 minggu), *very preterm* (lahir pada 28 sampai kurang dari 32 minggu), dan *moderate to late preterm* (lahir pada 32 sampai kurang dari 37 minggu). Jika bayi lahir lebih cepat dari hari perkiraan lahir kondisi atau bahaya yang didapat dari kecerobohan akan pasti meningkat. Oleh karena itu, bayi prematur harus dirawat dengan baik agar kepuasan pribadinya dapat lebih ideal. [2]. Inkubtor bayi merupakan alat yang diperlukan untuk penanganan bayi premature, namun incubator yang beredar saat ini masih bersifat manual dan perawat harus terus mengawasinya. Human error sangat bisa terjadi dan bisa berakibat pada Kesehatan maupun nyawa bayi tersebut.

Pengendalian otomatis sangat diperlukan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Logika fuzzy dinilai mampu untuk mengatasi permasalahan tersebut karena termasuk dalam control cerdas. Oleh karena itu logika fuzzy dapat menggantikan system *on-off* pada incubator dan dinilai ideal untuk bayi.

2. Dasar Teori

2.1 Inkubator Bayi

Inkubator bayi adalah tempat perawatan dan penyesuaian suhu dan kelembaban untuk bayi yang lahir premature atau lahir sebelum waktunya (kurang dari 37 minggu). Bayi normal lahir setelah dikandung kira-kira 40 minggu dalam kandungan. Rata-rata berat bayi normal berkisar antara 2500gram sampai dengan 4000 gram, sedangkan jika bayi terlahir prematur berat bayi kurang dari 2500 gram [2].

Alat untuk mencegah keadaan tubuh mengalami kesulitan menahan tekanan suhu rendah atau hipotermia pada bayi yang baru lahir atau prematur dengan cara menghangatkan suhu ruangan sekitar disebut inkubator bayi. Pada dasarnya inkubator bayi terbagi menjadi 2 bagian yaitu boks kontrol bawah dan atas. Pada boks bagian bawah terdapat elemen pemanas, mikrokontroler sedangkan bagian atas terdapat tempat tidur bayi dan sensor [3].

2.2 Sistem Kendali Fuzzy

Fuzzy logic diperkenalkan pertama kali oleh Prof. Lotfi Zadeh dari universitas California di Berkeley, pada pertengahan 1960. Untuk menghitung gradasi yang tak terbatas jumlahnya antara benar dan salah, Zadeh mengembangkan ide penggolongan set yang ia namakan set *fuzzy*. Tidak seperti logika boolean, *fuzzy logic* memiliki banyak nilai. Menggunakan *Fuzzy logic* untuk mencapai penyelesaian crisp pada masalah khusus biasanya melibatkan tiga Langkah yaitu: fuzzifikasi, rule evaluation, dan defuzzifikasi.

2.3 Fis (Fuzzy Inference System)

Jenis-jenis dari FIS (Fuzzy Inference System) yang sering dipakai antara lain:

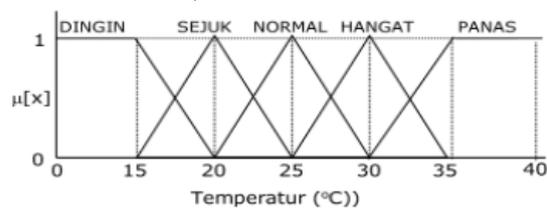
1. Metode Tsukamoto
metode ini mempunyai konsep yang setiap aturan tang berkaitan dengan IF – THEN yang harus dpresentasikan suatu himpunan logika fuzzy dengan keanggotaan yang monoton.
2. Metode Mamdani
metode ini juga sering disebut juga dengan metode Max-Min. Pertama kali metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Konsep ini memiliki 4 tahap untuk memperoleh output yang diinginkan, yaitu pembentukkan himpunan fuzzy, aplikasi fungsi fuzzy implikasi, komposisi aturan dan penegasan (defuzzy).
3. Metode Sugeno
metode ini disebut juga metode penalaran atau rule evaluation Takegi Sugeno yang mana konsep ini tidak berupa himpunan

fuzzy untuk mendapatkan output. Tetapi konstanta atau persamaan linier

2.4 Himpunan Fuzzy

Ada beberapa hal yang dapat dipahami dalam memahami sistem fuzzy, yaitu:

1. Variabel fuzzy merupakan variabel yang akan dibahas dalam suatu cakupan sistem fuzzy. Contoh: umur, temperatur, permintaan, dsb.
2. Himpunan fuzzy merupakan suatu grup yang bisa mengatasi suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel fuzzy. Sebagai contoh variabel temperatur dibagi menjadi 5 himpunan fuzzy, yaitu: DINGIN, SEJUK, NORMAL, HANGAT dan PANAS.

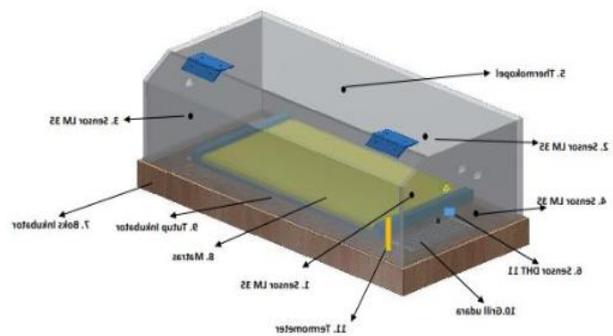


Gambar 1. Himpunan fuzzy pada variable temperature

3. Metode Penelitian

3.1 Rancangan Penelitian

Pada perancangan *prototype* inkubator ini terdiri dari boks bawah sebagai tempat mikrokontroler Arduino Mega 2560, Arduino Uno, lampu pijar, Motor Servo, *dimmer*, kipas, *driver motor L298*. Sedangkan bagian boks atas terdapat sensor DHT22, sensor LM35, tempat tidur bayi. Ukuran dari *prototype* inkubator bayi adalah dengan panjang = 65cm, lebar = 45cm, dan tinggi = 45cm.



Gambar 2. Model *prototype* inkubator

3.2 Alat dan Instrumen Penelitian

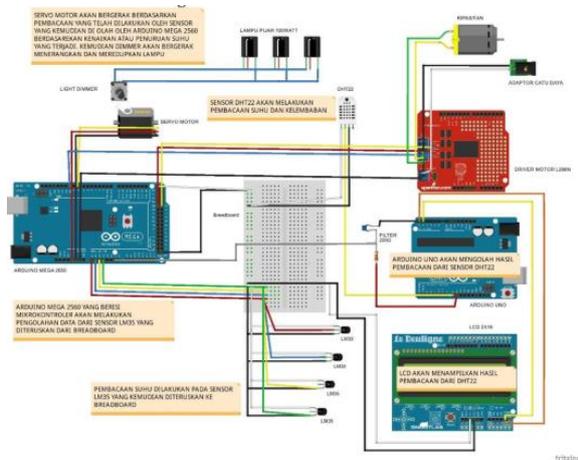
Adapun alat dan instrumen penelitian *prototype* inkubator bayi sebagai berikut:

1. Akrilik
2. Multiplex
3. Arduino Mega 2560
4. Arduino Uno

5. Dimmer
6. Motor Servo
7. Driver motor L298N
8. Lampu pijar 100 watt 3 buah
9. Sensor DHT22
10. Sensor LM35
11. Thermocouple tipe K
12. LCD 2x16
12. Kipas DC
13. Adaptor
14. Filter

3.3 Skematik Rancangan Mikrokontroler

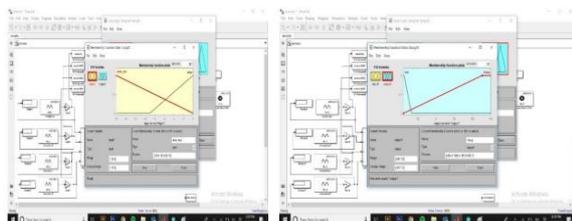
Dari Skema gambar diatas suhu dari sensor LM35 dapat mengantarkan input aliran listrik kecil, yang dijumpatani oleh whiteboard yang kemudian diproses oleh Arduino mega 2560 yang berupa sinyal analog, yang sudah terisi oleh system fuzzy logic yang kemudian disalurkan menjadi output menuju servo untuk menggerakkan lightdimmer. Fungsi lightdimmer disini sebagai pengatur terang dan redup lampu. Sementara itu untuk sensor DHT22 akan melakukann pembacaan suhu dan kelembaban yang berupa sinyal digital yang diproses oleh ARDUINO UNO R3 yang kemudian akan diteruskan dan ditampilkan pada pembacaan LCD.



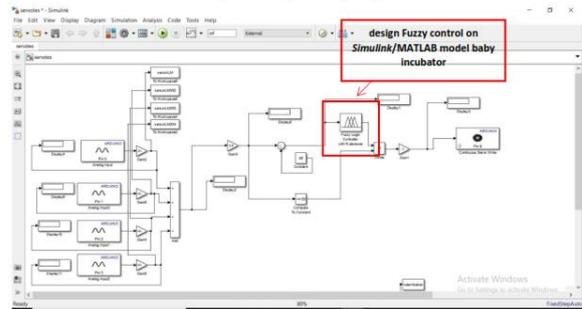
Gambar 3. Gambar skematik mikrokontroler

3.4 Rancangan Model Simulink

Pada rancangan model Simulink ini dibantu dengan software MATLAB/Simulink. Dengan cara menghubungkan blok-blok Simulink sesuai dengan pin yang digunakan.



Gambar 4. Input dan Output Fuzzy Logic



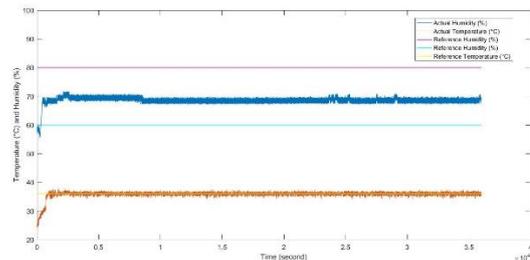
Gambar 5. Kontrol fuzzy prototype inkubator bayi

Pada gambar 5 merupakan rancangan kontrol Fuzzy pada *prototype* inkubator bayi dengan bantuan software MATLAB/Simulink. Tuning parameter menggunakan metode trial and error.

4. Hasil dan Pembahasan

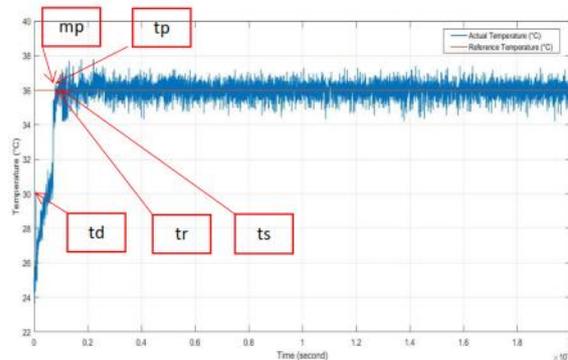
4.1 Analisa Pengujian *Prototype* Inkubator Tanpa Beban

Pada gambar 6 adalah hasil pengujian *prototype* inkubator tanpa beban selama 36.000 detik dengan menggunakan software *MATLAB/Simulink*. Dapat dilihat setting point suhu pada suhu 36°C dan kelembaban 80 %-60% RH.



Gambar 6. Grafik hubungan suhu dan kelembaban

Pada gambar 6. terlihat grafik mulai mengalami peningkatan antara suhu dan kelembaban diruangan inkubator dan stabil ketika suhu sudah mencapai setpoint yaitu pada 36°C.

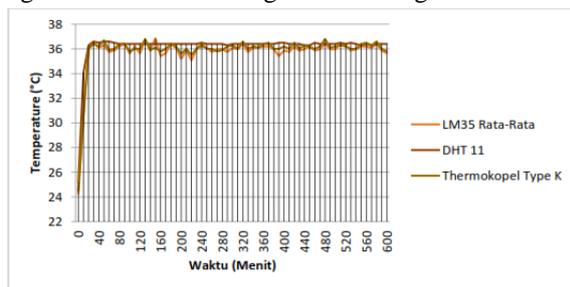


Gambar 7. Analisa respon sistem

Analisa respon sistem pengujian *prototype* inkubator bayi tanpa beban. Adapun parameternya sebagai berikut:

1. Delay time(td) = 74s
2. Rise time(tr) = 791s
3. Peak time(tp) = 1801s
4. Maximum overshoot (Mp) = $\frac{PV-SV}{SV} \times 100\%$
 $= \frac{36,3001-36}{36} \times 100\% = 0,834\%$
5. Settling time(ts) = 830s
6. Error signal (\bar{e}) = $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{PV-SP}{SP} \times 100\% =$
 $\frac{4874,27}{36001} = \frac{0,135392628}{36} \times 100\% = 0,135\%$

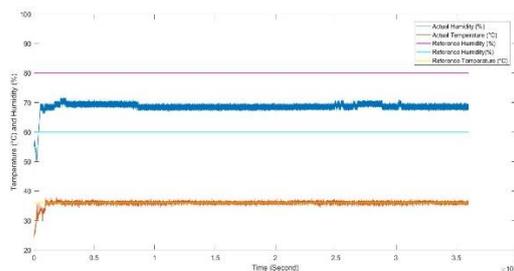
Untuk hasil pengukuran pada ruang inkubator dengan menggunakan sensor suhu DHT22, sensor LM35 dan thermometer ruang diperoleh grafik yang dijabarkan pada gambar 8. Dapat dilihat grafik cenderung sama arah perubahannya namun pada sensor LM35 dan DHT22 terlihat perbedaan. Dimana sensor DHT22 tidak mengalami osilasi yang signifikan dibandingkan dengan LM35



Gambar 8. Korelasi sensor

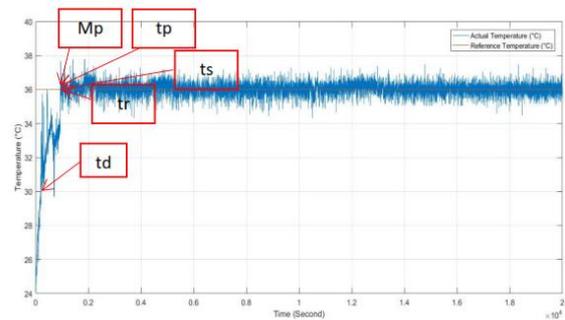
4.2 Analisa pengujian *prototype* incubator dengan beban

Pada gambar 9 merupakan hasil grafik dari pengujian *prototype* incubator dengan pemberian beban bayi tiruan seberat 2kg selama 36.000 detik dengan menggunakan software *MATLAB/Simulink*.



Gambar 9. Grafik hubungan suhu dan kelembaban

Pada gambar 9 terlihat grafik mulai mengalami peningkatan antara suhu dan kelembaban diruangan inkubator dan stabil ketika suhu sudah mencapai setpoint yaitu pada 36°C.

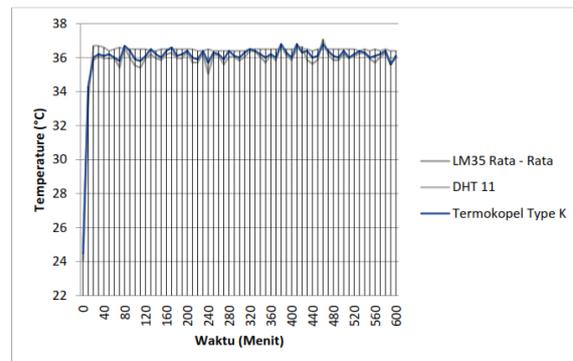


Gambar 10. Analisa respon sistem

Pada gambar 10 dilakukan analisa respon sistem pada pengujian *prototype* incubator bayi dengan pemberian beban 2 kg. Adapun parameternya sebagai berikut:

1. Delay time(td) = 197s
2. Rise time(tr) = 941s
3. Peak time(tp) = 952s
4. Maximum overshoot (Mp) = $\frac{PV-SP}{SP} \times 100\%$
 $= \frac{36,3787-36}{36} \times 100\% = 1,052\%$
5. Settling time(ts) = 960s
6. Error signal (\bar{e}) = $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{PV-SP}{SP} \times 100\% =$
 $\frac{22773,09762}{36001} = \frac{0,632586045}{36} \times 100\% = 1,757\%$

Untuk hasil pengukuran pada ruang inkubator dengan menggunakan sensor suhu DHT22, sensor LM35 dan thermometer ruang diperoleh grafik yang dijabarkan pada gambar 11. Dapat dilihat grafik cenderung sama arah perubahannya namun pada sensor LM35 dan DHT22 terlihat perbedaan. Dimana sensor DHT22 tidak mengalami osilasi yang signifikan dibandingkan dengan LM35.



Gambar 11. Korelasi sensor

4.3 Penggunaan Tabel Psikometri Pada Inkubator Bayi

Penggunaan tabel Psikometri ini untuk mengetahui specific volume dan enthalpy. supaya diketahui berapa energi yang dibutuhkan untuk perubahan suhu, Dry Bulb Temperature, dan Relative Humidity yang digunakan untuk mendapatkan nilai SpV dan H pada saat detik ke-0, delay time(TD), rise time(TR), Setling Point(TS), peak time(TP) dan detik ke 36000.

Tugas Akhir Jurusan Desain Produk Industri dan Teknik Sipil. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Tabel 1. Hasil pembacaan tabel psikometri pada data tanpa beban

Waktu	Dry Bulb Temperature	Relative Humidity	Entalphy	SpV
0	24,26	57	51,19	0,856
74	30,13	60,25	71,19	0,881
791	30,09	67,25	76,12	0,884
801	36,3	66,75	100,57	0,911
830	36,09	68	76,81	0,884
962	35,77	68	97,85	0,909
36000	35,64	68,5	101,37	0,911

Tabel 2. Hasil pembacaan tabel psikometri pada data dengan beban

Waktu	Dry Bulb Temperature	Relative Humidity	Entalphy	SpV
0	24,15	56,25	51,24	0,857
197	30,3	51,5	66,19	0,879
941	36,09	67,5	102,53	0,912
952	36,38	68,25	104,72	0,914
960	36,09	69	104,06	0,913
977	35,98	68	102,51	0,912
36000	36,04	68	102,51	0,912

Dengan menggunakan tabel psikometri dapat dilihat energy dan enthalpy yang dibutuhkan untuk perubahan suhu

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Dengan penambahan kontrol fuzzy sesuai metode *tuning trial and error* pada model *Simulink/MATLAB prototype* inkubator bayi maka didapat nilai rata-rata tanpa beban error $\bar{e} = 0,135\%$ dan dengan beban 2 kg didapat nilai rata-rata sinyal error $\bar{e} = 1,757\%$.
2. Dengan penambahan kontrol fuzzy sesuai dengan metode *tuning trial and error* pada model *Simulink/MATLAB prototype* inkubator bayi tanpa beban diperoleh M_p (Maximum Overshoot) = 0,834% dan yang menggunakan beban 2kg diperoleh M_p (Maximum Overshoot) = 1,052%.
3. Dengan menambahkan kontrol fuzzy sistem mencapai keadaan (settling time), t_s pada detik ke-830 saat pengujian prototype incubator tidak menggunakan beban. sedangkan pada pengujian prototype incubator dengan pemberian beban bayi tiruan seberat 2kg sistem mencapai keadaan settling time pada detik ke-960.

Daftar Pustaka

- [1] Rizqiani, R. F., & Yuliana, L. (2014). **Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kematian Bayi Prematur di Indonesia**. E-Journal Widya Kesehatan dan Lingkungan, 1(1), 224517.
- [2] Prasojo, S., & Suprianto, B. (2019). **Rancang Bangun Sistem Pengendalian Suhu Pada Inkubator Bayi Berbasis Fuzzy Logic Controller**. JURNAL TEKNIK ELEKTRO, 8(1).
- [3] Harseno, Ahmad R. 2017. *“Desain Inkubator Bayi dengan Konsep Harga Terjangkau”*.

	<p>Haris Rizal Pambudi Menyelesaikan Studi S1 di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana Pada Tahun 2022.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan sistem kontrol dan topik apapun yang berkaitan dengan Robotika.</p>	

Studi Eksperimental Karakteristik Tekanan Kapiler Pada Material Pad Hasil Aktivasi Bambu Betung Tanpa Holding Time

Reinhard Aditya Noversan Sihombing, Hendra Wijaksana dan Ketut Astawa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Dalam perkembangan zaman ini, telah diketahui secara luas bahwa pemanasan global yang terjadi pada bumi semakin meningkat, dan oleh karena itu dalam usaha mendapatkan tingkat kenyamanan dalam ruangan, diperlukan sistem pendingin yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan. Salah satu sistem pendingin alternatif adalah sistem *direct evaporative cooling*. Pada sistem *direct evaporative cooling*, material pad digunakan sebagai media perpindahan panas yang berguna untuk meningkatkan bidang kontak antara udara dan air. Bahan dasar material pad yang digunakan dalam penelitian ini yaitu bambu betung lokal yang berasal dari Bali. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur aktivasi terhadap karakteristik tekanan kapiler pada arang aktif bambu betung yang suhunya di variasikan dimulai dari 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C kemudian diaktivasi dengan temperatur 600°C tanpa holding time. Pengujian ini meliputi beberapa pengujian seperti uji SEM, uji sudut kontak, dan uji kapilaritas. Hasil dari seluruh pengujian menunjukkan bahwa spesimen MKA 800 memiliki kecocokan yang sangat besar dijadikan sebagai material pad pada sistem *direct evaporative cooling* dengan karakteristik jari-jari pori 29,16 µm, sudut kontak 36,6° dan tekanan kapiler tertinggi yaitu 39.890,26 N/m².

Kata Kunci : Direct Evaporative Cooling, bambu betung, material, karbonisasi, aktivasi dan kapilaritas.

Abstract

In the development of this era, it is widely known that global warming that occurs on the earth is increasing and therefore in an effort to get a comfortable level in the room, a cooling system that is more energy efficient and environmentally friendly is needed. One alternative cooling system is the system direct evaporative cooling. In direct evaporative cooling systems, material pads are used as a heat transfer medium which is useful for increasing the contact area between air and water. The basic material for the pad material used is local bamboo betung from Bali. This study aims to analyze the effect of variations in activation temperature on the characteristics of capillary pressure on bamboo betung activated charcoal whose temperatures are varied starting from 500°C, 600°C, 700°C, and 800°C then activated with a temperature of 600 ° C without holding time. . This test includes several tests such as SEM test, contact angle test, and capillarity test. The results of all tests indicate that the MKA 800 specimen has a very good suitability as a pad material in a system direct evaporative cooling with a pore radius of 29.16 µm, a contact angle of 36.6° and the highest capillary pressure of 39890.26 N/m².

Keywords: Direct Evaporative Cooling, bamboo betung, material, carbonization, activation and capillarity.

1. Pendahuluan

Telah diketahui secara luas bahwa pemanasan global yang terjadi pada bumi semakin meningkat dan oleh karena itu, negara kita adalah negara tropis yang memiliki suhu rata-rata antara 30-35°C dengan tingkat kelembaban relative 70-80%. Dengan demikian untuk mencapai standar kenyamanan udara 22-25°C dan tingkat kelembaban relative 40-60% digunakan sistem air conditioning (AC) yang berbasis kompresor dimana memerlukan input energy listrik yang cukup besar dan berdampak pada lingkungan yang diakibatkan oleh penggunaan refrigerant pada sistem AC tersebut yang dapat meningkatkan pemanasan global yang terjadi [1].

Sehubungan dengan hal tersebut, maka pada saat ini banyak dikembangkan sebuah sistem pendingin yang diharapkan dapat lebih hemat energy dan ramah lingkungan. Salah satu sistem hemat energy tersebut adalah sebuah sistem pendingin evaporative, yang hanya membutuhkan air dan udara sebagai energy penggerak sistem. Direct evaporative cooling merupakan salah satu sistem pendingin evaporative

yang memanfaatkan panas sensible udara luar untuk menguapkan lapisan air yang terdapat pada material pad yang basah, dimana proses penguapan ini akan menghasilkan efek pendinginan pada udara karena sebagian besar panas sensibelnya telah digunakan dalam proses evaporasi tersebut.

Material cooling pad yang banyak digunakan untuk sistem direct evaporative cooling biasanya material yang berpori seperti misalnya serabut kelapa, palash fiber, khus, aspen material, charcoal dan lain-lain yang fungsinya untuk dapat menyerap dan menampung air dalam jumlah yang cukup pada cooling pad, untuk penyediaan air bagi berlangsungnya proses evaporasi pada permukaan material cooling pad.

Peneliti yang sudah melakukan penelitian berbagai material dari jenis metal, fiber, ceramics, zeolite dan carbon fibre sebagai material penukar panas dan massa menyatakan bahwa secara umum material penukar panas dan massa yang baik harus memiliki konduktivitas thermal yang tinggi dan daya kapiler (capillary force) yang besar. Konduktivitas

thermal yang tinggi memungkinkan terjadinya perpindahan panas sensible udara secara konduksi dari saluran kering kesaluran basah yang lebih besar pada sistim indirect evaporative cooling, sedangkan capillary force yang besar akan mampu menyerap dan menahan jumlah massa air yang lebih besar pada material. Panas yang dikonduksikan tersebut diatas, cenderung akan menguapkan massa air yang tertahan pada material dan dengan panas terkonduksi yang lebih tinggi, akan mampu menguapkan massa air yang lebih banyak, sehingga akan meningkatkan efisiensi pendinginan.

Dalam penelitian ini, permasalahan yang akan dibahas adalah menganalisa karakteristik tekanan kapiler pada material pad hasil aktivasi bambu betung tanpa holding time. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa karakteristik tekanan kapiler material karbon aktif bambu betung sebagai material pad sistim *direct evaporative cooling*. Untuk memperoleh hasil yang maksimal dan lebih terarah serta luasnya permasalahan yang ada, maka perlu membatasi masalah dalam penelitian ini meliputi :

1. Material dalam penelitian ini yaitu bambu betung lokal bali.
2. Proses karbonisasi dilakukan pada temperature lingkungan (*oudoor*).
3. Reaktor karbonisasi dalam lingkungan bebas oksigen (*inert atmosphere*).
4. Temperatur karbonisasi sebesar 500°C, 600°C, 700°C, 800°C tanpa *holding time* dan temperatur aktivasi sebesar 600°C.
5. Pengujian yang dilakukan hanya meliputi Proses Karbonisasi, Proses Aktivasi Karbon, Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM), Pengujian Wettability.

2. Dasar Teori

2.1. Pembuatan Arang Karbon Aktif

Dalam pembuatan arang karbon aktif akan melewati 2 proses yaitu proses karbonisasi dan proses aktivasi. Sebelum dari proses karbonisasi terdapat proses penghilangan kadar air pada bambu dengan cara pemasukan spesimen ke dalam oven atau dapur listrik dengan suhu 105°C selama 6 jam kemudian lanjut pada proses karbonisasi. Proses karbonisasi merupakan proses pembakaran tanpa titik temperatur tertentu dan tanpa batasan udara yang menghasilkan arang dengan kandungan elemen karbon yang tinggi. Tujuan dari proses karbonisasi adalah meningkatkan kandungan karbon dan menghasilkan porositas awal pada material, kemudian dilakukan proses aktivasi karena arang yang dihasilkan pada proses karbonisasi masih memiliki pori-pori yang sebagian besar tertutup oleh beberapa komponen seperti hidrokarbon, tar, debu, nitrogen dan sulfur. Dalam usaha meningkatkan daya serap arang, maka dilakukan proses aktivasi fisika yang bertujuan untuk meningkatkan struktur pori-porinya.

2.2. Porositas

Porositas material adalah besaran yang menyatakan rasio antara volume pori dan volume total dari material. Pada material berpori, besarnya porositas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$\epsilon = \frac{V_{pw}}{V_w} \dots\dots\dots 1$$

dimana ϵ adalah porositas, V_{pw} adalah volume pori yang terbentuk (m^3/g) dan V_w adalah volume total material berpori (m^3/g).

2.3. Kapilaritas

Kapilaritas adalah kemampuan cairan mengalir pada ruang sempit tanpa adanya bantuan atau energi tambahan dan bertentangan dengan kekuatan eksternal seperti gravitasi [2]. Terjadinya kapilaritas disebabkan oleh adanya gaya tarik menarik antara molekul-molekul zat cair dan zat padat, sehingga porous media dengan saluran (pori) yang cukup kecil akan menyebabkan terjadinya kombinasi antara tegangan permukaan. Dengan semakin besar volume saluran (pori) kecil yang terbentuk pada material berpori (*porous material*) akan meningkatkan gaya tarik menarik antara molekul-molekul zat cair dan zat padat, sehingga akan meningkatkan daya kapiler (*capillary force*) pada material berpori tersebut. Daya kapiler akan mengangkat dan atau mensirkulasikan sejumlah massa fluida cair (air) ke seluruh bagian material.

Proses karbonisasi pada material bambu betung akan menghasilkan peningkatan struktur pori dan surface morfologi material menjadi material yang berstruktur mikropori, yang diharapkan dapat meningkatkan daya kapiler (*capillary force*) material bambu betung dan dengan daya kapiler yang tinggi akan dihasilkan laju aliran fluida yang maksimum pada material pad, dan dengan peningkatan karakteristik kapilaritas ini, nantinya diharapkan dapat memperluas wetted area dan memperbesar volume air (*water retaining volume*) pada material karbon bambu betung untuk sistim *direct evaporative cooling*. Besarnya tekanan kapiler (*capillary pressure*) pada material berpori dapat ditentukan dengan persamaan :

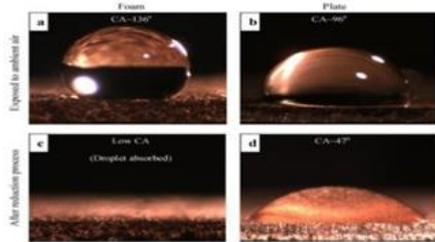
$$\Delta P_{cap} = \frac{2\sigma \cos \theta}{r_p} \dots\dots\dots 2$$

dimana ΔP_{cap} adalah tekanan kapiler ($Pa=N/m^2=kg/m.s^2$), σ adalah tegangan permukaan cairan (N/m), $\cos \theta$ adalah sudut kontak (derajat), r_p adalah jari-jari pori (μm).

2.4 Kemampuan Basah (Wettability)

Sifat mampu basah (*wettability*) adalah kemampuan suatu fluida untuk membasahi permukaan zat padat, dan *wettability* sangat

mempengaruhi kapilaritas dari suatu material. Untuk dapat memiliki kapilaritas, suatu material harus memiliki sifat mampu basah sebagai syarat utamanya. Wettability material dipengaruhi oleh sudut kontak. Pada Gambar 1 dijelaskan bahwa makin kecil sudut kontak yang terbentuk antara fluida dan material padat, maka material tersebut akan memiliki wettability yang makin besar dan sebaliknya wettability dan kapilaritas material akan menurun dengan bertambah besarnya sudut kontak [5].



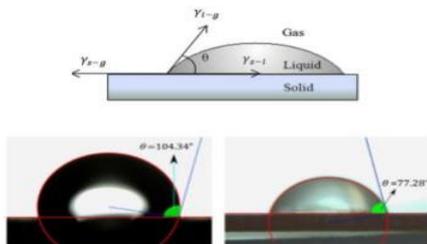
Gambar 1. Wettability material (Shirazy et.al., 2012)

Sudut kontak θ antara permukaan gas-cairan dan permukaan cairan-padat akan terbentuk pada saat gas, cairan dan padat dalam keadaan stabil. Bila sudut kontak antara zat padat dan cairan makin kecil, maka wettability material tersebut makin besar.

Sudut kontak dibentuk oleh permukaan padat dan garis singgung permukaan atas dari droplet (tetesan fluida). Sudut kontak merupakan hasil dari tegangan-tegangan permukaan zat gas, cair dan padat. Perhitungan sudut kontak dapat dilakukan seperti pada Gambar 2 dengan menggunakan perumusan seperti berikut :

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{sg} - \gamma_{ls}}{\gamma_{lg}} \dots\dots\dots 3$$

dimana γ_{sg} , γ_{ls} , γ_{lg} masing-masing adalah tegangan permukaan padat-gas, tegangan permukaan cair-padat, dan tegangan permukaan cair-gas, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Sudut kontak cairan dan zat padat (Xu et.al., 2013)

3. Metode Penelitian

3.1 Pembuatan Arang Karbon Aktif

Pada proses pembuatan arang karbon aktif, peralatan yang di gunakan pada proses karbonisasi

adalah reaktor karbonisasi dan gas nitrogen pada proses aktivasi.



Gambar 3. Peralatan proses karbonisasi

Pada penelitian ini akan di lakukan terlebih dahulu tahap karbonisasi pada masing masing spesimen dengan variasi temperatur karbonisasi 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C tanpa *holding time*, yang menghasilkan spesimen berturut-turut diberi nama MK 500, MK 600, MK 700, dan MK 800. Kemudian setelah di karbonisasi, untuk meningkatkan struktur pori dilakukan dengan proses aktivasi dengan menyuntikan aliran dari gas nitrogen pada seluruh spesimen kemudian spesimen akan di panaskan dalam reaktor dengan suhu 600°C dan menghasilkan spesimen yang diberi nama MKA 500, MKA 600, MKA 700, dan MKA 800.

3.2 Pengujian SEM

Pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)* berfungsi untuk mengetahui karakteristik struktur mikro dari spesimen bambu betung. Pelaratan ini terdiri dari 1 unit alat *Scanning Electron Microscope (SEM)* dan aplikasi image J untuk menganalisis hasil uji SEM.

Pada pengujian ini diperlukan spesimen arang bambu betung pada temperatur karbonisasi 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C dengan ukuran masing-masing 2mm x 2mm. Lalu setiap spesimen yang telah dipotong sesuai ketentuan akan dimasukan ke dalam alat uji SEM, dan dilayar komputer akan ditunjukkan stuktur pori dari setiap spesimen. Selanjutnya menentukan dan mengambil gambar stuktur pori dari masing-masing spesimen dengan ketentuan gambar tersebut harus terlihat jelas, bersih dari kotoran yang menutupi pori dan harus memuat pori yang kecil hingga pori yang besar. Setelah gambar struktur pori didapatkan maka akan dialanisis menggunakan aplikasi Image J.

Aplikasi Image J merupakan aplikasi yang digunakan untuk pengolahan gambar untuk mendapatkan berbagai proses analisis seperti jarak, sudut, luas area dan lain-lain. Pada analisis gambar uji SEM ini, aplikasi Image J digunakan untuk mendapatkan distribusi luas permukaan pori dari setiap spesimen arang bambu betung.



Gambar 4.Peralatan Pengujian SEM dan contoh material yang akan diuji

3.3 Pengujian Sudut Kontak

Adapun tahapan pengujian sudut kontak pada penelitian ini yaitu dengan cara meletakkan spesimen tepat dibawah *syringe pump* kemudian di injeksikan air berupa droplet tepat di permukaan pori dan kulit pada seluruh spesimen MKA, pengujian dilakukan dengan mengambil video melalui kamera HSVC (*High Speed Video Camera*) kemudian di lakukan analisis dalam bentuk gambar dengan aplikasi image J.



Gambar 5.Pengujian Sudut Kontak

3.4 Pengujian Kapilaritas

Pengujian kapilaritas ini bertujuan untuk mengetahui nilai dari porositas. Adapun tahapan pengujian nya yaitu :

1. Terlebih dahulu mempersiapkan spesimen MKA 500, MKA 600, MKA 700, dan MKA 800.
2. Kemudian timbang untuk mendapat nilai massa spesimen sebelum menyerap air.
3. Lakukan pengujian dengan menempelkan sebuah tisu dipermukaan atas spesimen yang akan diuji.
4. Mengisi gelas beker dengan air dan meletakkan nya diatas timbangan.
5. Memegang spesimen dengan posisi bagian bawah spesimen menempel dengan permukaan air di gelas beker.
6. Bersamaan dengan langkah no.4 hidupkan stopwatch.
7. Ketika seluruh bagian tisu sudah basah, matikkan stopwatch dan angkat spesimen dari gelas beker dan timbang massa spesimen setelah penyerapan.
8. Catat data ketinggian air (tinggi spesimen), waktu penyerapan, dan perubahan massa air

dari sebelum terjadi penyerapan dan sesudah proses penyerapan sebagai data kapilaritas karbon aktif dan tegangan permukaan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Karbonisasi

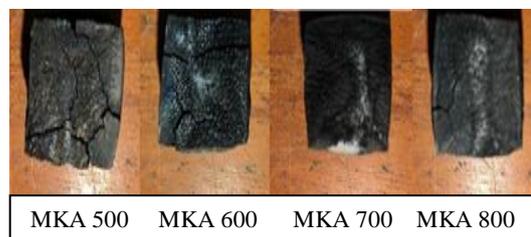
Hasil yang didapatkan dari proses karbonisasi pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 6.Spesimen Hasil Proses Karbonisasi

4.2 Hasil Aktivasi

Adapun hasil dari proses aktivasi pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

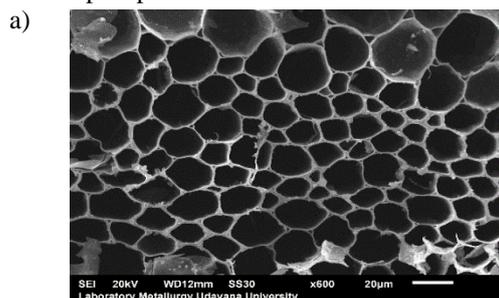


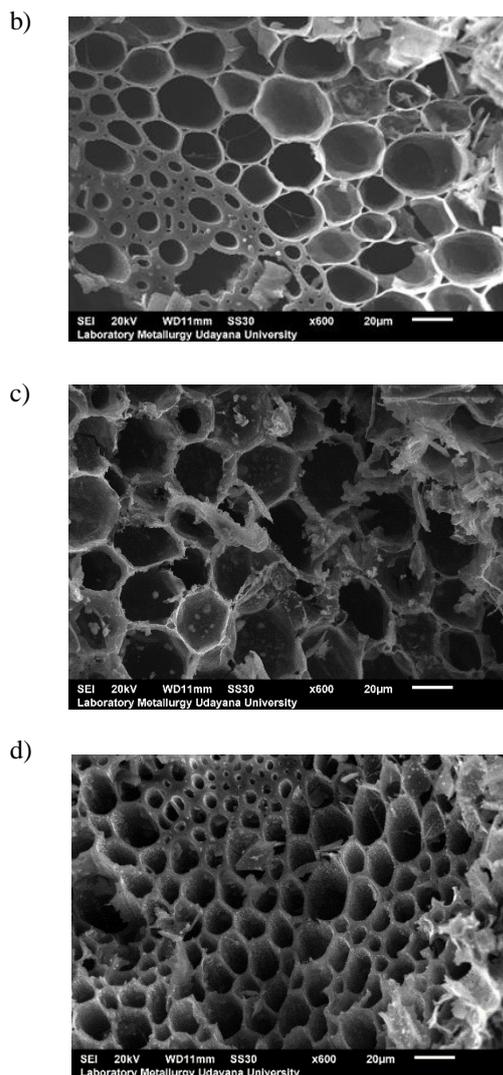
Gambar 7.Spesimen Hasil Proses Aktivasi

4.3 Karakteristik Struktur Pori

Struktur pori pada bambu betung dapat diketahui melalui pengujian SEM (Scanning Electron Microscope). Dimana objek yang diamati adalah permukaan pori pada arang bambu betung. Diperlukan spesimen arang bambu, dihasilkan melalui pengujian karbonisasi, pada masing-masing temperatur (500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C) dengan ukuran 2mm x 2mm x 2mm, sebagai tahap awal pengujian SEM. Kemudian dilakukan analisis struktur pori yang ditampilkan pada layar monitor. Tahap akhir dari pengujian SEM adalah menentukan dan mengambil gambar struktur pori pada masing-masing spesimen dengan resolusi 500 µm, 50 µm, dan 20 µm. Dimana gambar struktur pori tersebut akan dianalisis menggunakan aplikasi Image J.

Gambar 8 menunjukkan hasil analisis dengan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada keempat spesimen :





Gambar 8. Struktur Pori Pada Spesimen (a)MKA 500, (b)MKA 600, (c)MKA 700, (d)MKA 800

Pada Tabel 1 merupakan hasil analisis uji SEM yang diolah dengan aplikasi Image J dan sudah diproses dengan *Microsoft Excel*.

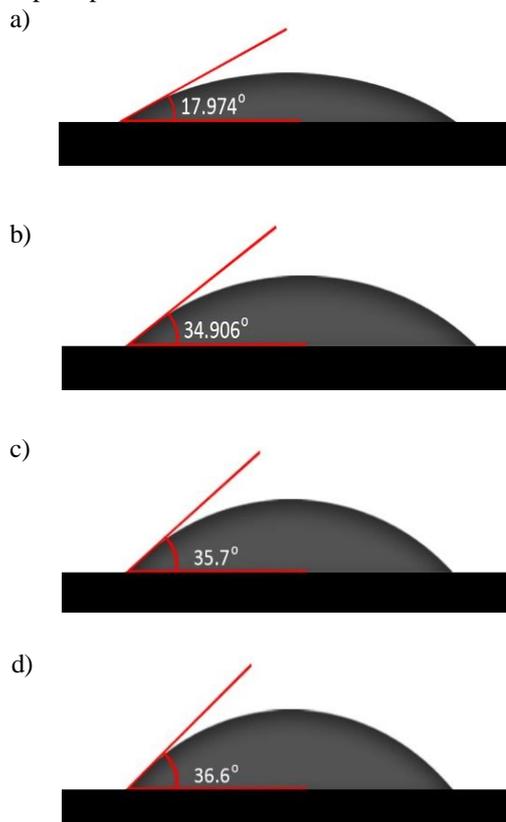
Tabel 1 Hasil Pengolahan Data Struktur Pori Pada Bambu Betung

Nama Spesimen	Jari-Jari Pori (µm)	Jari-Jari Pori (m)
MKA 500	41,67	41,67 x 10 ⁻⁶
MKA 600	34,48	34,48 x 10 ⁻⁶
MKA 700	33,16	33,16 x 10 ⁻⁶
MKA 800	29,16	29,16 x 10 ⁻⁶

4.4 Pengujian Sudut Kontak

Pada pengujian sudut kontak ini yang dimaksud yaitu untuk menganalisis daya serap material terhadap suatu fluida yang menyentuh material tersebut. Sudut kontak antara fluida berupa air dengan permukaan pori bambu betung dapat

diketahui melalui pengujian *wettability* (kemampuan basah). Berikut adalah hasil dari pengujian sudut kontak pada penelitian ini :



Gambar 9. Sudut kontak pada spesimen (a)MKA 500, (b)MKA 600, (c)MKA 700, (d)MKA 800

Pada gambar 9 ditunjukkan bahwa pada spesimen MKA 500 (500°C) mempunyai sudut kontak terkecil, yaitu 17.974° dan pada spesimen MKA 800 (800°C) mempunyai sudut kontak terbesar, yaitu 36.6°. Adapun hasil dari besar sudut kontak dan besar $\cos\theta$ adalah sebagai berikut :

Tabel 2 Data Sudut Kontak

Nama Spesimen	Sudut Kontak (°)	Cosθ
MKA 500	17,974°	0,95
MKA 600	34,906°	0,82
MKA 700	35,7°	0,81
MKA 800	36,6°	0,80

4.5 Karakteristik Kapilaritas

Pada penelitian ini, pengujian kapilaritas dilakukan untuk mengetahui besar ketinggian permukaan air (mm) setiap 1 detik pada spesimen MKA 500 (500°C), MKA 600 (600°C), MKA 700 (700°C), dan MKA 800 (800°C). Dimana dengan mengetahui waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir, dapat ditentukan nilai tegangan permukaan fluida pada setiap spesimen uji. Dimana dengan mengetahui besar ketinggian permukaan air setiap 1

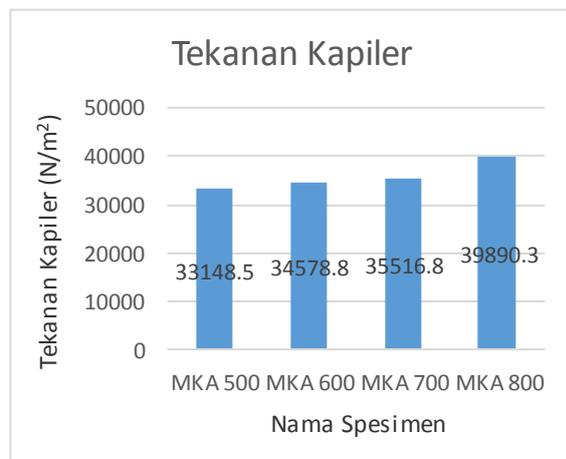
detik dapat ditentukan nilai tegangan permukaan fluida pada setiap spesimen uji.

Pada tabel 3, menunjukkan hasil pengolahan data karakteristik tegangan permukaan fluida pada bambu betung. Ditampilkan tegangan permukaan fluida (N/m) dan besar tekanan kapiler (N/m²).

Tabel 3 Hasil Pengolahan Data Tegangan Permukaan dan Pengujian Kapilaritas

Nama Spesimen	Tegangan Permukaan (N/m)	Tekanan Kapilaritas (N/m ²)
MKA 500	0,0727 N/m	33.148,5 N/m ²
MKA 600	0,0727 N/m	34.578,8 N/m ²
MKA 700	0,0727 N/m	35.516,8 N/m ²
MKA 800	0,0727 N/m	39.890,3 N/m ²

Pada Gambar 10, menunjukkan hasil perhitungan tekanan kapiler berupa grafik antara spesimen arang aktif MKA 500, MKA 600, MKA 700 dan MKA 800. Berdasarkan grafik tersebut, ditunjukkan bahwa spesimen MKA 800 memiliki nilai tekanan kapiler tertinggi yaitu 39.890,3 N/m² dan spesimen MKA 500 memiliki nilai tekanan kapiler terendah yaitu 33.148,5 N/m².



Gambar 10. Grafik perbandingan nilai tekanan kapiler

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan bahwa spesimen arang aktif bambu MKA 800 memiliki nilai tekanan kapiler yang tertinggi yaitu 39.890,3 N/m² jika dibandingkan dengan spesimen lain yang diuji. Maka dapat disimpulkan bahwa spesimen arang aktif bambu MKA 800 yang dikarbonisasi di suhu 800°C dan diaktivasi di suhu 600°C tanpa holding time cocok menjadi material *pad* pada sistem *direct evaporative cooling* karena memiliki memiliki nilai tekanan kapiler yang paling tinggi diantara 4 variasi temperature arang aktif yang di uji pada penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] ASHRAE. 1989. ANSI/ASHRAE Standard 62-1989, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [2] Lago, M. & Araujo, M. 2001. *Capillary Rise In Porous Media. Physica A: Statistical Mechanics And Its Applications*, 289, 1-17.
- [3] Midiani, L. P. I., Septiadi, W. N., Winaya, I. N. S., Sucipta, M., & Putra, N. (2019). *Characterization of capillary pumping amount in novel sintered zeolites and hybrid zeolite-Cu for heat pipe applications*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 145, 118759.
- [4] Rizky Pratama Rachman, Bambang Yunianto. 2014. *PENGARUH JENIS SPRAYER TERHADAP EFEKTIVITAS DIRECT EVAPORATIVE COOLING DENGAN COOLING PAD SERABUT KELAPA*. Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Vol. 2, No. 2. 78-82.
- [5] Shirazy, M. R., Blais, S. & Fréchet, L. G. 2012. *Mechanism Of Wettability Transition In Copper Metal Foams: From Superhydrophilic To Hydrophobic*. Applied Surface Science, 258, 6416-6424.
- [6] Solomon, A. B., Mahto, A. K., Joy, R. C., Rajan, A. A., Jayprakash, D. A., Dixit, A., Sahay, A. 2020. *Application of bio-wick in compact loop heat pipe*. Applied Thermal Engineering, 169, 114927.
- [7] Xu, B., Liu, D., Xu, G., Zhang, X. & Bi, L. 2013. *A Measurement Method For Contact Angle Based On Hough Transformation*. Measurement, 46, 1109-1114.

	<p>Reinhard Aditya Noversan Sihombing menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2014 sampai 2021. Topik yang diangkat dalam menyelesaikan studi sarjana adalah sebagai berikut : Studi Eksperimental Karakteristik Tekanan Kapiler Pada Material Pad Hasil Aktivasi Bambu Betung Tanpa Holding Time.</p>
--	--

MIKROKONTROLER SISTEM HYBRID UNTUK PENGATURAN SUHU DAN KELEMBABAN INKUBATOR BAYI

Andrian Indra Pranata, W. Widhiada, W. Bandem Adnyana
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pesatnya pertumbuhan teknologi di Indonesia terutama pada bidang kesehatan sangatlah menarik untuk di ikuti. Namun angka kematian bayi di Indonesia masih merupakan permasalahan yang menghantui negara ini. Salah satu faktor penyumbang tingginya angka kematian bayi di Indonesia adalah kematian bayi yang lahir secara prematur. Bayi yang lahir secara prematur memerlukan perawatan khusus, terutama dalam menjaga suhu lingkungan disekitarnya yang berkisar antara 35°C-36°C. Dengan menggunakan Inkubator hal tersebut dapat dicapai. Inkubator bayi merupakan alat pencegah hipotermi (kondisi kesulitan untuk mengatur suhu tubuh yang berujung kesulitan mengatasi tekanan suhu dingin) pada bayi yang baru lahir terutama bayi premature dengan cara menghangatkan suhu ruangan dan bayi agar dapat mempertahankan suhu badan bayi normal (Harseno, 2017). Dalam penelitian kali ini, dilakukan pemodelan inkubator dengan mikrokontroler Arduino Mega 2560 dan 2 mikrokontroler Arduino Uno yang terintegrasi satu sama lain dan peneliti akan menerapkan sistem kontrol PID dan Fuzzy Logic yang dirangkai secara Hybrid dengan bantuan software Matlab dan Arduino.ide. Menggunakan parameter suhu dengan set point 36°C dan kelembaban dengan range RH 60-80%. Dengan target suhu signal error pada sistem $\leq 5\%$ dan suhu maximum overshoot sistem $\leq 5\%$. Hasil dari penelitian ini didapatkan signal error rata-rata = 0,0462% dan maximum overshoot = 0,83378% pada pengujian tanpa beban. Didapatkan signal error rata-rata = 0,018202% dan maximum overshoot = 1,36083% pada pengujian dengan beban 2 Kg.

Kata kunci : Bayi Prematur, Inkubator Bayi, Mengatur Suhu, PID, Fuzzy Logic, Hybrid

Abstract

The rapid growth of technology in Indonesia, especially in the health sector, is very interesting to follow. Even so, the infant mortality rate in Indonesia is still a problem that haunts this country. One of the factors contributing to the high infant mortality rate in Indonesia is the death of babies born prematurely. Babies born prematurely require special care, especially in maintaining the ambient temperature in the range of 35°C-36°C. By using the Incubator this can be achieved. The baby incubator is a means of preventing hypothermia (a condition of difficulty regulating body temperature which leads to difficulty coping with cold pressure) in newborns, especially premature babies by warming the room temperature and the baby in order to maintain a normal baby's body temperature (Harseno, 2017). In this study, modeling of an incubator with an Arduino Mega 2560 microcontroller and 2 Arduino Uno microcontrollers is carried out which is integrated with each other and the researcher will implement a PID control system and Fuzzy Logic which is arranged in a Hybrid manner with the help of Matlab and Arduino.ide software. Using temperature parameters with a set point of 36°C and humidity with a RH range of 60-80%. With the target temperature signal error on the system $\leq 5\%$ and the maximum system overshoot temperature $\leq 5\%$. The results of this study obtained an average signal error = 0.0462% and maximum overshoot = 0.83378% in the no-load test. The average signal error = 0.018202% and maximum overshoot = 1.36083% in the test with a load of 2 Kg.

Keyword : Babies Born Prematurely, Incubator, Temperature Control, PID, Fuzzy Logic, Hybrid

1. Pendahuluan

Pesatnya pertumbuhan teknologi di Indonesia terutama pada bidang kesehatan sangatlah menarik untuk di ikuti. Namun angka kematian bayi di Indonesia masih merupakan permasalahan yang menghantui negara ini. Angka kematian bayi di Indonesia masih merupakan salah satu yang tertinggi apabila dibandingkan dengan negara-negara ASEAN lainnya [1]. Salah satu faktor penyumbang tingginya angka kematian bayi di Indonesia adalah kematian bayi yang lahir secara prematur. Bayi yang lahir secara prematur memerlukan perawatan khusus, terutama dalam menjaga suhu lingkungan disekitarnya yang berkisar antara 35°C-36°C. Dengan menggunakan Inkubator hal tersebut dapat dicapai.

Inkubator bayi merupakan alat pencegah hipotermi (kondisi kesulitan untuk mengatur suhu tubuh yang berujung kesulitan mengatasi tekanan suhu dingin) pada bayi yang baru lahir terutama bayi premature dengan cara menghangatkan suhu ruangan dan bayi agar dapat mempertahankan suhu badan bayi normal [2].

Sejak tahun 1990-2003, angka kematian bayi mengalami penurunan angka kasus kematian. Namun dalam jangka waktu 10 tahun terakhir ini, terjadinya perlambatan penurunan angka tersebut. Hal tersebut mengakibatkan Indonesia semakin jauh untuk mencapai target yang sudah ditetapkan Millenium Development's Goal 2015, yaitu menurunkan angka kematian anak dari tahun 1990-2015 sebesar dua per

tinganya. Indonesia memiliki target sebesar 23 kematian per 1000 kelahiran hidup di tahun 2015 untuk angka kematian anak. Namun, hasil Standar Diagnosis Keperawatan Indonesia 2012 menunjukkan bahwa kematian bayi di Indonesia baru mencapai 32 kematian per 1000 kelahiran hidup [3]. Pada saat ini beberapa Puskesmas yang berada di daerah pedesaan atau daerah-daerah terpencil masih menggunakan inkubator yang bersifat manual, dimana perawat harus selalu memantau angka di thermometer yang berada didalam inkubator. Kemungkinan terjadi nya kelalaian atau *human error* dapat menurunkan kualitas perawatan bayi prematur. Oleh karena itu, perealisasi inkubator yang dapat mengatur suhu dan kelembaban dalam inkubator secara otomatis sangatlah diperlukan. Dengan harapan dapat meminimalisirkan *human error* dan dapat membantu menurunkan angka kematian bayi di Indonesia.

Penelitian sebelumnya [4] tentang Kontrol Distribusi Temperatur untuk Sistem Inkubator Bayi Berbasis Arduino ATmega 2560. Dalam penelitiannya menggunakan elemen pemanas sebagai sumber panasnya dengan penerapan kontrol *on/off* membutuhkan waktu 400 detik untuk mencapai suhu 36°C.

Dalam penelitian kali ini, dilakukan pemodelan inkubator dengan mikrokontroler Arduino Mega 2560 dan 2 mikrokontroler Arduino Uno yang terintegrasi satu sama lain dan peneliti akan menerapkan sistem kontrol PID dan *Fuzzy Logic* yang dirangkai secara *Hybrid* dengan bantuan *software Matlab* dan *Arduino.ide*. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen, menggunakan *Simulink* yang merupakan bagian dari *Matlab* untuk pemodelan sistem kontrol *Hybrid* yang diinginkan. Dengan adanya sistem kontrol Hybrid yang sudah di rancang diharapkan dapat mengatur suhu inkubator agar tetap stabil yaitu 36° C dan kelembaban 60-75% RH. Dalam sebuah rekayasa kontrol, kontrol PID merupakan salah satu jenis kontrol yang sering digunakan. Kendali PID merupakan kombinasi dari tiga macam kendali yaitu Proportional, Integral, dan Derivative [5]. Logika fuzzy merupakan salah satu cara pemetaan sebuah ruang masukan kedalam sebuah ruang keluaran [6]. Dengan menggabungkan 2 sistem kontrol diatas menjadi sistem *hybrid* dapat diharapkan inkubator dapat mencapai *set-point* suhu dan kelembaban yang ditargetkan dengan lebih cepat dan stabil. Penerapan mikrokontroler dengan system *hybrid* ini akan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang telah menggunakan PID dan *Fuzzy Logic* secara independen.

2. Dasar Teori

2.1 Inkubator Bayi

Pada rumah sakit ataupun puskesmas, sebuah inkubator bayi merupakan salah satu alat medis yang sangat dibutuhkan untuk menjaga suhu seorang bayi agar terjaga pada suhu yang nyaman, terutama pada

bayi yang lahir secara prematur. Bayi prematur merupakan bayi yang baru dikandung selama 37 minggu namun sudah harus dilahirkan karena terjadinya kelahiran prematur dan memiliki berat badan kurang dari 2,5 Kg. Oleh karena itu bayi prematur sangat memerlukan inkubator bayi untuk membantu menjaga suhu tubuhnya yang cenderung belum stabil. Bayi prematur beresiko mengalami hipotermia (suhu tubuh yang rendah) karena pada bayi prematur keadaan jaringan lemak di bawah kulit kurang atau masih tipis [7].

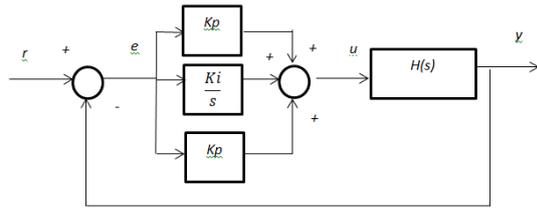
Pada umumnya inkubator bayi terdiri dari 2 bagian utama, yaitu boks atas dan boks bawah. Pada boks atas terdapat sensor suhu dan tempat bayi untuk tidur. Sementara pada boks bagian bawah terdapat heater untuk pemanas, kontroler, kipas dan lcd untuk membaca suhu pada inkubator.

2.2 Kontrol PID

Kontrol PID (Proportional-Integral-Derivative) adalah sistem kontrol yang paling banyak di adopsi dalam industri sampai saat ini karena harga yang sangat menguntungkan (Korsane et.al, 2014). Kontrol PID merupakan kontrol gabungan yang terdiri dari 3 kontrol, yakni kontrol P (Proportional), kontrol I (Integral), dan kontrol D (Derivative). Menentukan keakuratan atau presisi sebuah sistem dalam bentuk umpan balik (*feedback*) merupakan salah satu fungsi dari kontrol PID. Dalam perancangan kontrol PID perlu dilakukan pengaturan parameter dari setiap kontrol agar tanggapan sinyal yang keluar dari sistem terhadap masukan (input) tertentu sesuai dengan yang diinginkan. Tujuan penggabungan control ini adalah menyatukan kelebihan dari masing-masing kontrol guna mendapatkan kontrol yang ideal, adapun kelebihanannya sebagai berikut :

1. Sistem kontrol proporsional memiliki keunggulan dimana waktu naik yang dicapai cukup cepat.
2. Sistem kontrol integral lebih unggul dalam meminimalisir error
3. Sistem kontrol derivatif memiliki keunggulan dalam meredam d_error serta meredam overshoot/undershot.

Dalam sebuah sistem $H(s)$ yang linier dalam fungsi waktu, merupakan sistem dimana kontrol PI dan PID yang merupakan sistem kontrol gabungan dapat digunakan. Dengan kata lain, persamaan dinamik $H(s)$ relative tidak mengalami perubahan selama rentang waktu pengontrolan. Diagram kombinasi control PID dinyatakan sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Kontrol PID

2.3 Analisa Transient-Response

Dalam menganalisa dan mendesain sebuah sistem kontrol, sebuah pembanding untuk sistem kontrol tersebut diperlukan untuk dilakukan suatu perbandingan. Pada dasarnya hal ini dapat dilakukan dengan sebuah sinyal uji tertentu dan responnya dibandingkan dengan sinyal-sinyal masukkan sistem kontrol tersebut. Fungsi tangga, fungsi ramp, fungsi percepatan, fungsi impuls, dan fungsi sinusoida merupakan contoh dari beberapa test input signal (sinyal input uji) yang dapat digunakan. Dengan melakukan uji sinyal analisa matematik dan eksperimen pada sistem kontrol dapat dilakukan dengan mudah dan cukup simpel karena sinyal-sinyal ini berbentuk fungsi waktu sederhana.

Saat sebuah sistem kontrol didesain berbasis dengan sinyal uji, performa sebuah sistem bereaksi terhadap suatu respon masukan yang nyata akan menghasilkan hasil yang diinginkan. Penggunaan sinyal uji memungkinkan performasi semua sistem dengan *basic* yang sama [8].

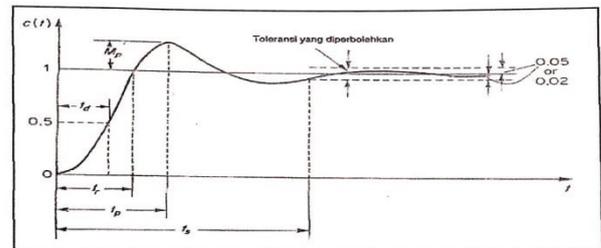
Menguji sistem transient respon harus dilakukan untuk menganalisa sistem kontrol, seperti berapa waktu yang diperlukan sebuah sistem untuk mencapai titik tertentu didalam sistem tersebut. Respon transient suatu sistem terhadap *input step* bergantung kepada kondisi awal sebuah respon. Tindakan yang perlu dilakukan untuk membandingkan karakteristik respon yaitu menggunakan syarat awal standar menggunakan respon awal dari nol.

Dalam menentukan karakteristik respon sebuah transient sistem kontrol terhadap *step input*, berikut adalah beberapa parameter yang dapat ditentukan:

1. Waktu tunda (*delay time*), t_d . merupakan waktu pertama kalinya sebuah respon sinyal menyentuh setengah dari harga maksimumnya
2. Waktu naik (*rise time*), t_r . merupakan waktu pertama kalinya sebuah respon sinyal menyentuh harga penuhnya (100%)
3. Waktu puncak (*peak time*), t_p . merupakan waktu pertama kalinya sebuah respon sinyal melewati harga penuhnya (diatas 100%)
4. Lewatan maksimum (*maximum overshoot*), M_p . merupakan nilai pucuk

kurva yang diukur diatas penuh (100%). Apabila nilai tidak mencapai 1 (100%) maka perhitungan menggunakan persentase maksimumnya.

5. Waktu penetapan (*settling time*), t_s merupakan waktu respon sinyal telah mencapai kestabilan pada harga yang ditentukan. Toleransi dari osilasi sinyal pada waktu ini tergantung pada ketentuan yang disetujui.



Gambar 2. Karakteristik respon transient

2.4 Fuzzy Logic

Menurut [6], Logika fuzzy adalah sebuah langkah pemetaan sistem masukan ke dalam sebuah sistem keluaran. Berikut beberapa aplikasi dilapangan:

1. Manajer sebuah gudang memberikan list barang yang tersisa untuk minggu ini, yang kemudian diproses oleh manajer produksi untuk memproduksi barang untuk minggu depan.
2. Pelayan restoran yang memberikan sebuah pelayanan yang baik, akan diberikan tip oleh pelanggannya.
3. Anda ingin sebuah ruangan ber AC memiliki temperatur tertentu, kemudian anda memberitahu saya untuk mengubah suhu AC di ruangan tersebut.
4. Penumpang grab car memberitahukan kepada sopir grab seberapa cepat laju mobilnya melaju, kemudian sopir grab akan mengatur banyak tidaknya gas yang ia injak.

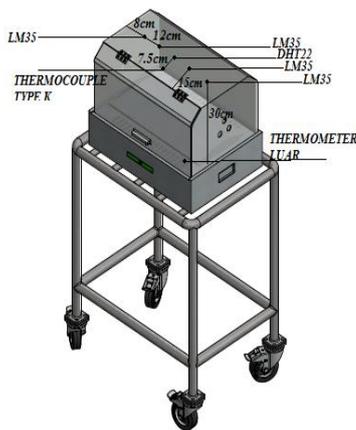
Mengenai logika fuzzy pada dasarnya ada sebuah daerah samar atau fuzzy pada satuan 0 sampai dengan 1 pada sebuah proses (tidak binari). Operasi guna memodifikasi atau/dan menggabung himpunan fuzzy adalah suatu operasi dasar himpunan fuzzy. Salah satu aturan jika-maka, dimana pengaturan yang digunakan dalam suatu pernyataan itu diatur oleh sebuah fungsi keanggotaannya merupakan aturan (rule) if-then pada fuzzy logic. Dalam penggunaan sebuah logika fuzzy dalam sistem, ada berbagai faktor yang harus ditinjau dahulu seperti misalnya cara mengolah sebuah masukan sistem menjadi sebuah keluaran dari sistem melalui metode inferensi fuzzy. Metode inferensi fuzzy merupakan sebuah proses penempatan *input* kepada *output* sebuah sistem. Fungsi keanggotaan, aturan jika-maka, dan operasi logika dipergunakan dalam menentukan proses tersebut. FIS (Fuzzy Inferensi System)

merupakan sistem yang dihasilkan dari proses-proses tersebut. Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto merupakan beberapa FIS yang terdapat didalam logika fuzzy.

3. Metode Penelitian

3.1 Rancangan Penelitian

Pada perancangan inkubator ini terdapat dua bagian utama yaitu bagian box atas dan bagian box bawah inkubator. Pada unit bagian bawah box terdiri dari board Arduino Uno, Arduino Mega 2560, lampu pijar, relay, servo, adaptor, dan fan. Sedangkan bagian atas inkubator terdiri dari sensor suhu DHT 11, sensor suhu LM 35, matras inkubator, dan tutup inkubator. Ukuran geometri inkubator memiliki lebar = 45 cm, tinggi = 45 cm dan panjang = 65 cm. Pemilihan dimensi ukuran inkubator bayi yang digunakan berdasarkan ukuran bayi premature yang memiliki tinggi badan sekitar 46 – 53 cm. Pemilihan dimensi ukuran inkubator untuk penelitian saat ini dipilih karena ukuran inkubator pada penelitian sebelumnya dianggap cukup besar, sehingga perlu dilakukan pengecilan dimensi ukuran.



Gambar 3. Model *prototype* inkubator

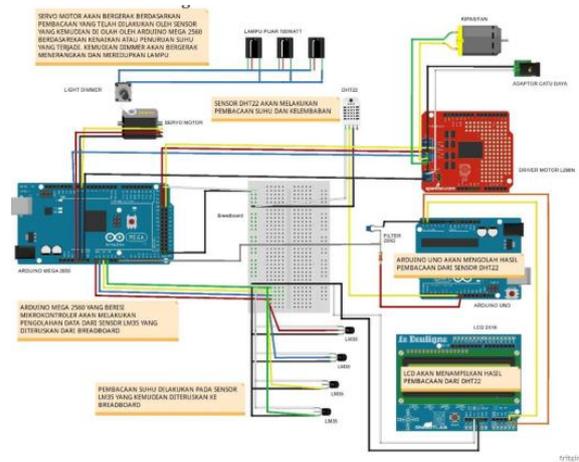
3.2 Alat dan Instrumen Penelitian

Adapun alat dan instrumen penelitian *prototype* inkubator bayi sebagai berikut :

1. Adaptor
2. Akrilik
3. Board Arduino Mega 2560
4. Board Arduino Uno
5. Driver motor L298N
6. Filter
7. Kipas DC
8. Lampu pijar 100 watt 3 buah
9. LCD berukuran 2x16
10. *Light Dimmer*
11. Multiplex
12. Sensor suhu dan kelembaban DHT22
13. Sensor suhu LM35
14. *Servo motor*
15. *Thermocouple* tipe K

3.3 Skematik Rancangan Mikrokontroler

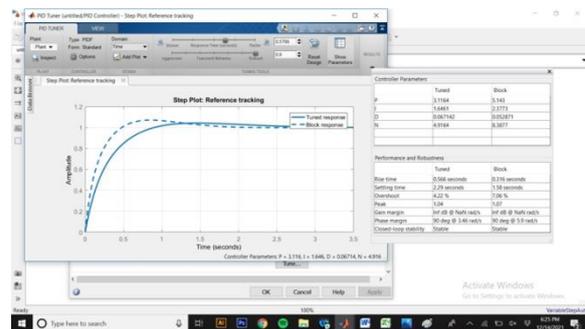
Dari gambar skematik suhu yang dibaca oleh sensor LM35 memberikan daya listrik kecil yang akan dibaca oleh Arduino Mega 2560 berupa signal analog, yang kemudian akan di proses oleh mikrokontroler hybrid yang sudah di program di dalam Arduino Mega 2560 yang kemudian sinyal output nya akan diteruskan menuju servo yang akan memutar light dimmer untuk menaikkan atau menurunkan suhu melalui intensitas cahaya lampu. Sementara itu untuk sensor DHT22 akan membaca suhu dan kelembaban yang berupa signal digital yang akan diproses oleh Arduino UNO R3 yang kemudian diteruskan menuju LCD 2X16 menampilkan pembacaan suhu dan kelembaban di ruang inkubator.



Gambar 4. Gambar skematik mikrokontroler

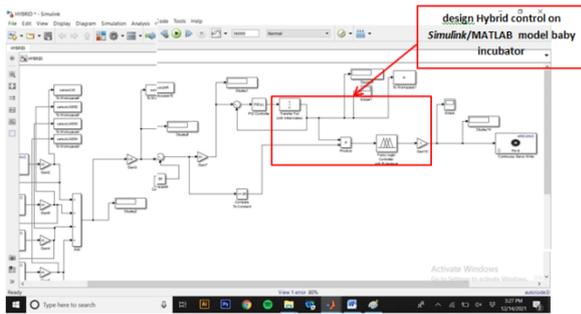
3.4 Rancangan Model Simulink Pada MATLAB

Pada rancangan model Simulink ini dibantu dengan software MATLAB. Dengan cara menghubungkan blok-blok yang diperlukan untuk sistem kontrol pada software simulink pin-pin yang sesuai dengan alat hardware yang digunakan pada inkubator.



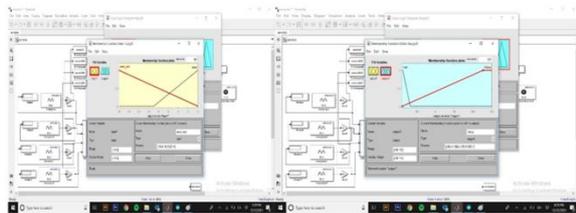
Gambar 5. PID Tuner Pada Blok PID Controller

Pada blok PID tuner, hal yang harus dilakukan adalah menggeser slider Response Time dan Transient Behaviour untuk mendapatkan parameter Kp, Ki dan Kd yang diinginkan. Jika sudah mendapatkan parameter yang diinginkan maka update blok PID Controller dengan parameter yang baru. Dimana parameter baru yang didapatkan disini $K_p = 3,116$, $K_i = 1,646$ dan $K_d = 0,067$.



Gambar 6. Kontrol Hybrid pada model Simulink/MATLAB

Pada model simulink di gambar 6 terlihat sistem kontrol hybrid yang menggabungkan sistem kontrol PID menggunakan PID tuner dengan *Fuzzy Logic Control*.

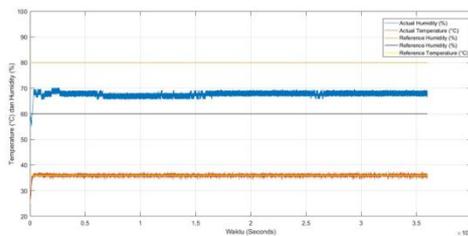


Gambar 7. Fuzzy Logic Control

4. Hasil dan Pembahasan

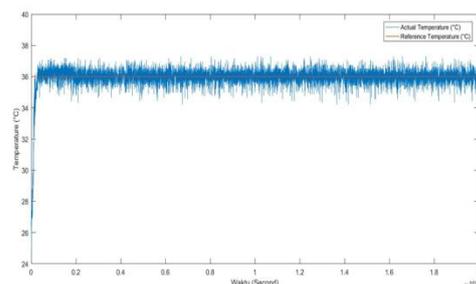
Penelitian dilakukan dengan menggunakan set point suhu pada 36°C dengan waktu selama 36.000 detik. Dilakukan 2 pengujian yaitu pengujian tanpa beban dan pengujian dengan beban 2 Kg. Pengkondisian kelembaban pada ruang inkubator menggunakan range 80 %-60% RH.

4.1 Analisa Pengujian *Prototype* Inkubator Tanpa Beban



Gambar 8. Grafik hubungan suhu dan kelembaban pengujian tanpa beban

Dapat dilihat pada gambar 8 bahwa grafik mengalami kenaikan suhu dari suhu awal hingga mencapai suhu set point 36°C yang kemudian mencapai kestabilan.

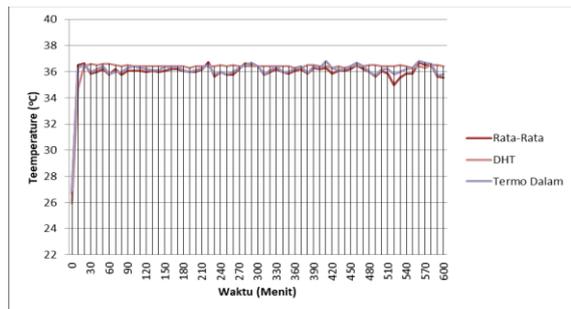


Gambar 9. Analisa respon sistem pengujian tanpa beban

Analisa respon sistem pengujian *prototype* inkubator bayi tanpa beban. Adapun parameternya yang dapat dilihat dibawah ini:

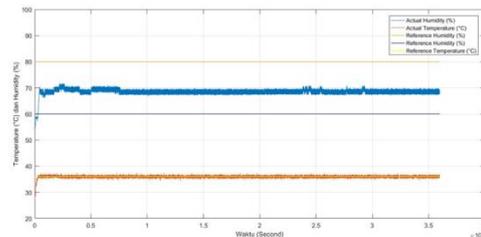
1. Waktu tunda (t_d) = 98s
2. Waktu naik (t_r) = 184s
3. Waktu puncak (t_p) = 194s
4. Lewatan maksimum (M_p) = $\frac{PV-SV}{SV} \times 100\% = \frac{36,3002-36}{36} \times 100\% = 0,83378\%$.
5. Waktu penetapan (t_s) = 272s
6. *Error signal* (\bar{e}) = $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{PV-SP}{SP} \times 100\% = \frac{4874,27}{36001} = \frac{0,016632}{36} \times 100\% = 0,0462\%$

Pada ruang inkubator dilakukan pengukuran dengan menggunakan sensor LM 35, DHT 22 dan termometer ruangan yang dapat dilihat grafik korelasi ketiga alat ukur tersebut pada gambar 10. Terlihat bahwa sensor LM 35 mengalami osilasi yang cukup signifikan, dikarenakan sensor tersebut memiliki sensitifitas yang paling tinggi diantara ketiga alat ukur tersebut.



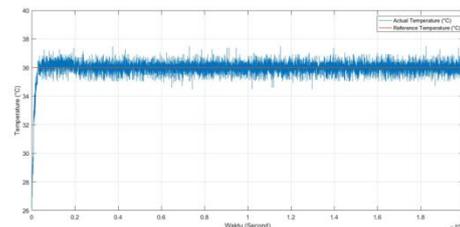
Gambar 10. Korelasi sensor

4.2 Analisa pengujian *prototype* incubator dengan beban



Gambar 11. Grafik hubungan suhu dan kelembaban pengujian dengan beban

Pada gambar 11 terlihat kenaikan grafik dari suhu awal hingga mencapai set point, yang kemudian mengalami kestabilan. Kelembaban juga mengalami kestabilan pada range 80 %-60% RH.

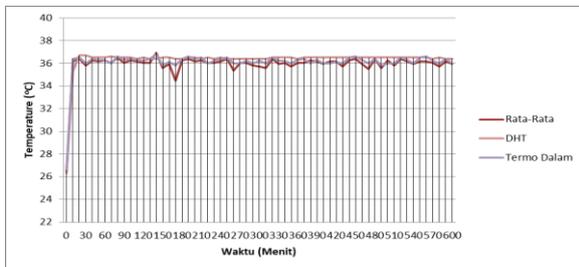


Gambar 12. Analisa respon sistem

Pada gambar 12 dapat dilihat analisa respon sistem pada pengujian prototype inkubator bayi dengan pemberian beban 2 kg. Adapun parameternya yang dapat dilihat dibawah ini:

1. Waktu tunda (td) = 86s
2. Waktu naik (tr) = 275s
3. Waktu puncak (tp) = 290s
4. Lewatan maksimum (Mp) = $\frac{PV-SP}{SP} \times 100\% = \frac{36,4899-36}{36} \times 100\% = 1,36083\%$.
5. Waktu penetapan (ts) = 301s
6. Error signal (\bar{e}) = $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{PV-SP}{SP} \times 100\% = \frac{235,9100}{36001} = \frac{0,0065531}{36} \times 100\% = 0.018202\%$

Untuk hasil pengukuran pada ruang inkubator dengan menggunakan sensor suhu DHT22, sensor LM35 dan termometer ruang diperoleh grafik yang dijabarkan pada gambar 13. Sensor LM 35 dan termometer luar mengalami osilasi yang lebih signifikan dibandingkan dengan sensor DHT 22.



Gambar 13. Korelasi sensor

4.3 Penggunaan Tabel Psikometri Pada Inkubator Bayi

Tabel psikometri disini akan digunakan untuk melihat specific volume (Spv) dan enthalpy (H). Dry Bulb Temperature dan Relative Humidity yang digunakan untuk mendapatkan nilai Spv dan H pada tabel psikometri diambil pada titik titik teretentu pada penelitian, yaitu pada detik ke-0, delay time (td), rise time (tr), peak time (tp), settling time (ts) dan detik ke-36000.

Tabel 1. Hasil pembacaan tabel psikometri pada data tanpa beban

Waktu	Dry Bulb Temperature (Tdb)	Relative Humidity (RH)	Enthalpy (H)	Specific Volume (Spv)
0	26.67 °C	57.75%	59.12 kJ/kg	0.867 m³/kg
98	31.81 °C	56%	74.54 kJ/kg	0.887 m³/kg
184	36.08 °C	59.50%	94.86 kJ/kg	0.908 m³/kg
194	36.3 °C	60.50%	96.32 kJ/kg	0.909 m³/kg
272	36.3 °C	64.50%	100.45 kJ/kg	0.912 m³/kg
36000	35.53 °C	66.75%	99.12 kJ/kg	0.909 m³/kg

Tabel 2. Hasil pembacaan tabel psikometri pada data dengan beban

Waktu	Dry Bulb Temperature (Tdb)	Relative Humidity (RH)	Enthalpy (H)	Specific Volume (Spv)
0	26.45 °C	54.00%	56.34 kJ/kg	0.865 m³/kg
86	31.03 °C	58.50%	73.7kJ/kg	0.885 m³/kg
275	36.04 °C	59.50%	94.2 kJ/kg	0.908 m³/kg
290	36.48 °C	60.50%	97.14 kJ/kg	0.910 m³/kg
301	36.37 °C	61.00%	97.20 kJ/kg	0.909 m³/kg
36000	35.93 °C	68.50%	102.77 kJ/kg	0.912 m³/kg

Dengan menggunakan tabel psikometri, dapat dilihat enthalpy dan energi yang diperlukan untuk perubahan suhu yang terjadi didalam inkubator bayi.

5. Kesimpulan

Dari penelitian Yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan penambahan kontrol Hybrid dengan menggabungkan sisem kontrol PID Tuning dengan Fuzzy Logic pada model Simulink/MATLAB prototype inkubator bayi maka didapat nilai rata-rata tanpa beban error $\bar{e} = 0,0462\%$ dan dengan beban 2 kg didapat nilai rata-rata sinyal error $\bar{e} = 0,018202\%$
2. Dengan penambahan kontrol Hybrid dengan menggabungkan sisem kontrol PID Tuning dengan Fuzzy Logic pada model Simulink/MATLAB prototype inkubator bayi tanpa beban diperoleh Mp (Maximum Overshoot) = 0,8338% dan yang menggunakan beban 2kg diperoleh Mp (Maximum Overshoot) = 1,36083%
3. Dengan menggunakan kontrol sistem Hybrid mencapai keadaan (settling time), ts pada detik ke-272 saat pengujian prototype inkubator tanpa beban, kemudian pada pengujian menggunakan beban 2 kg sistem mencapai keadaan settling time pada detik ke-301
4. Dengan melakukan pembacaan tabel psikometri dapat dilihat berapa energy dan enthalpy yang diperlukan untuk berubah nya suhu dalam ruang prototype inkubator bayi.

Daftar Pustaka

[1] Wijayanti, Anisa Catur., Widayanti, Deny Ari. 2018. *Faktor-Faktor yang Ber- hubungan dengan Kematian Bayi di Kabupaten Boyolali*. The 7th University Research Colloquium 2018.

[2] Harseno, Ahmad. R. 2017. *Desain Inkubator Bayi dengan Konsep Harga Terjangkau*. Tugas Akhir. Jurusan Desain Produk Industri Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

[3] Yuliana, Lia., Rizqiani, Ratu Fani. 2017. *Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Kematian Bayi Prematur Di Indonesia*.

[4] Widhiada, W., Negara, D. N. K. P., Suryawan, P. A. 2017. **Temperature Distribution Control for Baby Incubator System Using Arduino ATmega 2560**. International Journal. International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering. Vol. 11. No. 10. 2017.

- [5] Rosalina, Qosim, Ibnu., Mujirudin, Mohammad. 2017. *Analisis Pengaturan Kecepatan Motor DC Menggunakan Kontrol PID (Proportional Integral Derivative)*. Seminar Nasional TEKNOKA
- [6] Puspita, Ema. S. dan Yulianti L. 2016. *Perancangan Sistem Peramalan Cuaca Berbasis Fuzzy Logic*. Jurnal. Jurnal Media Infotama. Vol. 12. No.1. 01 Februari 2016. ISSN: 1858-2680.
- [7] Lapono, Laura A. S. 2016. *Sistem Pengontrolan Suhu Dan Kelembaban Pada Inkubator Bayi*. Jurnal Fisika Sains dan Aplikasinya (2016).
- [8] Widhiada. W. 2004. *Bahan Ajar Teknik Kontrol*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik. Universitas Udayana. Denpasar.

	<p>Andrian Indra Pranata Menyelesaikan Studi S1 di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana Pada Tahun 2022.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan sistem kontrol dan topik apapun yang berkaitan dengan Robotika.</p>	

Laju Aliran Massa Fluida Pada Material Karbon Bambu Betung Dengan Variasi Temperatur Karbonisasi 400, 500, 600, 700, Dan 800 °C

Alvin Dio Hutagalung, Hendra Wijaksana dan IG. Teddy Prananda Surya
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Seiring dengan perkembangan zaman dan terus bertambahnya jumlah penduduk berdampak pada perubahan sosial kehidupan masyarakat, salah satunya kenyamanan didalam beraktivitas. Indonesia merupakan Negara beriklim tropis sehingga pemakaian pengkondisian udara sangat dibutuhkan, salah satunya Evaporative Air Cooler yang menggunakan prinsip sistem direct evaporative cooling, efek pendinginan diberikan oleh proses penguapan yang terjadi pada material pad yang telah dibasahi oleh air. Material pad pada sistem direct evaporative cooling ini merupakan sebagai media pendingin yang berasal dari bahan bambu local yaitu bambu betung. Penelitian ini menggunakan arang karbon sebagai material pad untuk mengetahui pengaruh laju aliran massa fluida pada sistem direct evaporative cooling. Dengan menggunakan temperatur karbonisasi 400°C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C. Hasil dari seluruh pengujian menunjukkan bahwa spesimen yang telah di karbonisasi dengan temperatur 600 °C atau KRB 600 memiliki karakteristik laju aliran massa tertinggi yakni sebesar 12.8×10^{-8} kg/s yang bisa dijadikan potensi pada pembuatan material pad baru pada sistem direct evaporative cooling

Kata kunci: Direct evaporative cooling, bambu betung, karbonisasi, Laju aliran massa fluida

Abstract

Along with the times and the continued increase in the population, it has an impact on social changes in people's lives, one of which is comfort in activities. Indonesia is a tropical country so the use of air conditioning is needed, one of which is the Evaporative Air Cooler which uses the principle of a direct evaporative cooling system, the cooling effect is given by the evaporation process that occurs in the pad material that has been wetted by water. The pad material in this direct evaporative cooling system is a cooling medium derived from local bamboo, namely bamboo betung. This study uses carbon charcoal as a pad material to determine the effect of the mass flow rate of the fluid on the direct evaporative cooling system. By using a carbonization temperature of 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C. The results of all tests show that the specimen that has been carbonized with a temperature of 600°C or KRB 600 has the highest mass flow rate characteristic of 12.8×10^{-8} kg/s which can be used as potential for making new pad materials in the direct system. evaporative cooling

Keywords: Direct evaporative cooling, bamboo betung, carbonization, The mass flow rate of the fluid

1. Pendahuluan

Perkembangan zaman berpengaruh pada terus bertambahnya jumlah penduduk dan akan berdampak pada perubahan sosial kehidupan masyarakat, kenyamanan melakukan aktivitas merupakan salah satu bentuk kebutuhan hampir seluruh manusia pada zaman ini.

Terdapat dua sistem pengkondisian udara yang banyak digunakan yaitu Air Conditioning dan sistem Evaporative Air Cooler. Penggunaan sistem AC yang berlebihan akan meningkatkan pemanasan global karena menghasilkan CFC (clorofluorocarbon) atau yang biasa kita sebut dengan freon yang dapat mengakibatkan rusaknya lapisan ozon dan pemanasan global yang juga berdampak terhadap perubahan iklim seperti mencairnya es di kutub. Bahkan International Energy Agency (IEA) mengatakan penggunaan AC merupakan akan menjadi pemacu terbesar kenaikan permintaan energi global, setelah kegiatan industri.

Dalam penggunaan AC yang memiliki kebutuhan listrik lebih besar, sebaliknya Evaporative Air

Cooler lebih ramah lingkungan karena menggunakan air sebagai cairan pendingin, mudah perawatannya dan penggunaan daya listrik yang jauh lebih rendah karena hanya menggunakan mechanical fan, cooling pad dan pompa air. Evaporative Air Cooler menggunakan prinsip Evaporative Cooling, yaitu sistem pengkondisian udara yang menggunakan penguapan air untuk mendinginkan dan meningkatkan kadar air atau kelembapan pada aliran udara, sehingga membuat temperatur bola kering lebih rendah dari sebelum dilakukan proses evaporasi.

Cooling pad merupakan bagian yang berfungsi sebagai media pendingin jadi dalam sistem ini dibutuhkan material pad yang berpori serta memiliki daya serap air yang tinggi dan kemampuan untuk memastikan proses penguapan pada permukaan material pad.

Pengembangan pada material pad banyak dilakukan untuk meningkatkan kinerja thermal maupun kinerja kapiler direct evaporative cooling. Pada penelitian ini material pad yang digunakan

merupakan material alami yang memiliki serat penguat yang dapat diperbaharui untuk pembuatan komposit yaitu bambu, yang dikarbonisasi dan diaktivasi karbon sehingga menjadi arang karbon aktif.

Dalam meningkatkan kinerja kapiler terdapat beberapa nilai hal yang mempengaruhi yaitu kapilaritas, permeabilitas, dan *wettability*, sementara dalam peningkatan kinerja *thermal* beberapa hal yang mempengaruhinya yaitu, laju perpindahan panas dan laju aliran massa udara dan juga laju aliran massa fluida (air).

Dalam penelitian ini maka permasalahan yang akan dibahas, yaitu:

1. Menganalisa karakteristik laju aliran massa fluida pada arang karbon bambu betung sebagai material pad.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah bambu betung lokal bali.
2. Temperatur karbonisasi 400, 500, 600, 700, 800°C.
3. Fluida yang digunakan adalah air.

2. Dasar Teori

2.1. Pembuatan Arang Karbon

Proses pembuatan arang karbon terdiri dari proses karbonisasi dan proses aktivasi. Sebelum dari proses karbonisasi terdapat proses penghilangan kadar air pada bambu dengan cara pemasukan spesimen ke dalam oven atau dapur listrik dengan suhu 105°C selama 6 jam kemudian lanjut pada proses karbonisasi. Proses karbonisasi merupakan proses pembakaran tanpa titik temperatur tertentu dan tanpa batasan udara yang menghasilkan arang dengan kandungan elemen karbon yang tinggi. Tujuan dari proses karbonisasi adalah meningkatkan kandungan karbon dan menghasilkan porositas awal pada material, kemudian dilakukan proses aktivasi karena arang yang dihasilkan pada proses karbonisasi masih memiliki pori-pori yang sebagian besar tertutup oleh beberapa komponen seperti hidrokarbon, tar, debu, nitrogen, sulfur sehingga keaktifannya atau daya serapnya rendah [2].

2.2. Kapilaritas

Kapilaritas adalah kemampuan cairan mengalir pada ruang sempit tanpa adanya bantuan atau energi tambahan dan bertentangan dengan kekuatan eksternal seperti gravitasi.

Proses karbonisasi dan aktivasi karbon pada material bambu betung akan menghasilkan peningkatan struktur pori dan *surface morphology* material menjadi material yang berstruktur mikropori, yang diharapkan dapat meningkatkan daya kapiler (*capillary force*) material bambu betung dan dengan daya kapiler yang tinggi akan dihasilkan laju aliran fluida yang maksimum pada material pad.

2.3. Permeabilitas

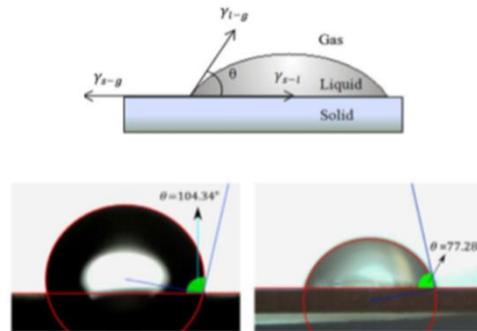
Permeabilitas didefinisikan sebagai kemampuan cairan untuk melewati pori-pori bahan berpori. Dengan kata lain, permeabilitas mencerminkan efektivitas interaksi antara cairan dan bahan berpori, dan bukan merupakan sifat cairan atau bahan berpori. Nilai dari permeabilitas dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$K = \frac{d_p^2 \cdot \delta^3}{122 (1-\delta)^2} \quad (1)$$

Dimana K adalah permeabilitas material, δ ialah porositas (%). d_p ialah diameter pori (μm), dan 122 merupakan nilai faktor geometrik arang aktif bambu [3].

2.4. Wettability

Sifat mampu basah (*wettability*) adalah kemampuan suatu fluida untuk membasahi permukaan zat padat, dan *wettability* sangat mempengaruhi kapilaritas dari suatu material. *Wettability* terbentuk karena pada saat terjadi kontak antara zat padat dan cair, cairan akan memindahkan lapisan gas pada zat padat sehingga membentuk permukaan cairan dan padat [4].



Gambar 1. Sudut kontak cairan dan zat padat (Xu et.al.,2013)

2.5. Laju Aliran Massa Fluida

Laju aliran massa fluida dalam hal ini adalah jumlah massa fluida yang dapat dipompakan secara kapiler kedalam material berpori per satuan waktu. Dimana kemampuan nilai laju aliran massa fluida berpengaruh terhadap kemampuan absorpsi air pada material pad yang akan berguna untuk menjamin ketersediaan air dalam material pad, guna berlangsungnya terjadinya proses evaporasi yang menghasilkan efek pendinginan udara.

Dimana \dot{m} ialah laju aliran massa fluida kapiler dalam material pad, yang besarnya dapat dituliskan sebagai

$$\dot{m} = \frac{\rho_l K A_w}{\mu_l r_{eff}} \left[\frac{2\sigma_l}{r_{eff}} \cos\theta - \rho_l \cdot g \cdot l_{eff} \cdot \sin\theta \right] \quad (2)$$

Dimana \dot{m} ialah laju aliran massa fluida (kg/s), K adalah Permeabilitas sumbu kapiler (m^2), r_{eff} adalah jari jari efektif pori (μm), A_w adalah Luas Penampang pad (m^2), l_{eff} adalah panjang efektif pipa kalor (m), σ adalah tegangan permukaan fluida (N/m), μ_l adalah viskositas fluida kerja pipa kalor ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$), $\cos\theta$ adalah sudut kontak *wettability*, $\sin\theta$

adalah sudut posisi pad, ρ^l adalah massa jenis fluida (Kg/m^3)

3. Metode Penelitian

3.1 Pembuatan Arang Karbon

Pada proses pembuatan arang karbon, peralatan yang di gunakan pada proses karbonisasi adalah reaktor karbonisasi serta nitrogen.



Gambar 2. Peralatan proses karbonisasi

Pada penelitian ini akan di lakukan tahap karbonisasi pada masing masing spesimen dengan variasi temperatur karbonisasi 400, 500, 600, 700, dan 800°C , yang menghasilkan spesimen KRB 400, KRB 500, KRB 600, KRB 700, dan KRB 800

3.2 Pengujian SEM

Setelah spesimen melalui proses karbonisasi dilanjutkan dengan tahap pengujian *scanning electron microscope* (SEM) yang merupakan bertujuan untuk mengetahui seberapa besar struktur pori yang pengaruhnya sangat besar terhadap karakteristik porositas dan tegangan permukaan fluida pada arang karbon bambu betung.

Tahapan dalam pengujian *scanning electron microscope* (SEM) pada arang bambu betung, yaitu :

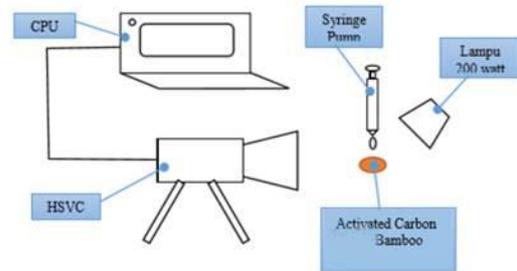
1. Spesimen arang bambu yang dihasilkan melalui karbonisasi di bentuk dengan ukuran 2mm x 2mm
2. Meletakkan 5 spesimen (KRB 400, 500, 600, 700 dan 800) tersebut ke dalam alat *scanning electron microscope* (SEM).
3. Dilakukan analisis gambar pada struktur pori pada masing-masing spesimen.

Dari struktur pori hasil uji SEM dan dibantu dengan aplikasi Image J, dapat ditentukan besarnya ukuran pori, distribusi pori dan porositas material.

3.3 Pengujian Sudut Kontak

Pengujian sudut kontak ini dimaksudkan untuk menentukan sifat mampu basah (*wettability*) dari material bambu yang telah diaktivasi. Adapun tahapan pengujian *wettability* pada arang bambu betung dengan cara meletakkan spesimen tepat dibawah *syringe pump* kemudian

di injeksikan air berupa droplet tepat di permukaan pori dan kulit pada seluruh spesimen AKRB, pengujian dilakukan dengan mengambil video melalui kamera HSVC (*High Speed Video Camera*) kemudian di lakukan analisis dalam bentuk gambar dengan aplikasi image J.



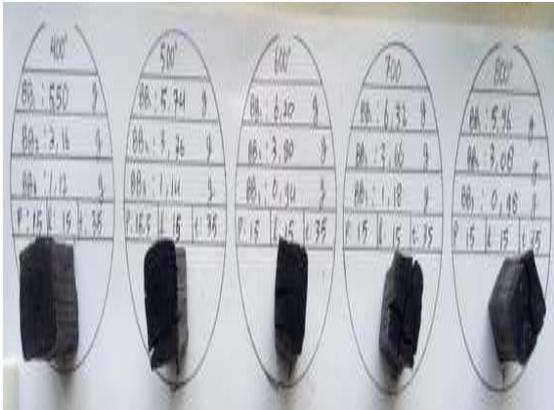
Gambar 3. Skema Pengujian Sudut Kontak

3.4 Pengujian Kapilaritas

Pengujian kapilaritas ini bertujuan untuk mengetahui nilai dari porositas. Adapun tahapan pengujian nya yaitu :

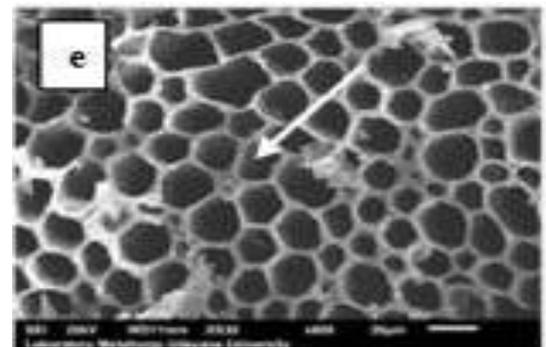
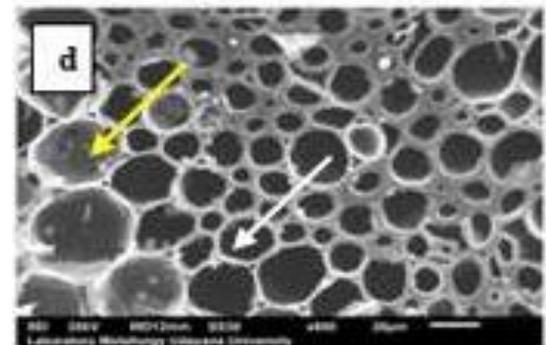
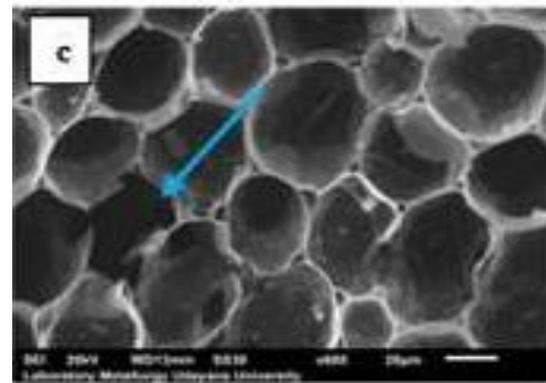
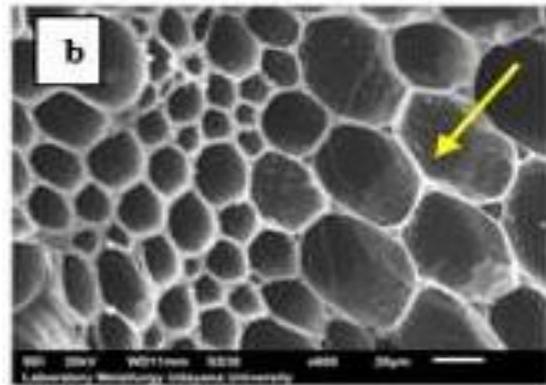
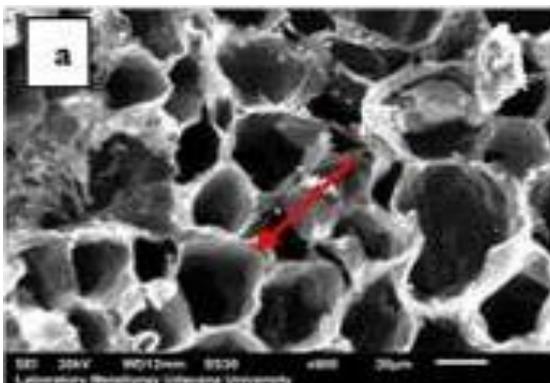
1. Siapkan spesimen KRB400, KRB500, KRB600, KRB700, dan KRB800. Timbang untuk mendapat nilai massa spesimen sebelum menyerap air.
2. Lakukan pengujian dengan menempelkan tisu dipermukaan atas spesimen yang akan diuji.
3. Mengisi gelas beker dengan air dan letakkan diatas timbangan.
4. Memegang spesimen dengan posisi bagian bawah spesimen menempel dengan permukaan air di gelas beker.
5. Bersamaan dengan langkah no.4 hidupkan stopwatch.
6. Ketika seluruh bagian tisu sudah basah, matikan stopwatch dan angkat spesimen dari gelas beker dan timbang massa spesimen setelah penyerapan.
7. Catat data ketinggian air (tinggi spesimen), waktu penyerapan, dan perubahan massa air dari sebelum terjadi penyerapan dan sesudah proses penyerapan sebagai data kapilaritas karbon aktif dan tegangan permukaan.

4. Hasil dan Pembahasan
 4.1 Struktur dan Distribusi Pori



Gambar 4. Spesimen arang aktif bambu betung, KRB 400, 500, 600, 700 dan 800

Gambar 4 merupakan gambar hasil bambu betung setelah melalui proses karbonisasi dengan variasi temperatur 400, 500, 600, 700, 800 °C dan diaktivasi dengan suhu temperatur 600°C tanpa holding time. Kemudian spesimen dilanjutkan dengan pengujian *scanning electron microscope* (SEM) menentukan dan mengambil gambar struktur pori pada masing-masing spesimen dengan resolusi 20 µm. Dimana gambar struktur pori tersebut akan dianalisis menggunakan aplikasi Image J. Sementara itu, data output yang ditentukan dari hasil analisis menggunakan aplikasi Image J adalah distribusi jari-jari pori, yang kemudian dirata-ratakan sehingga menghasilkan data jari-jari pori material karbon aktif bambu betung, seperti yang terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Gambar Struktur Pori dari spesimen (a) KRB 400, (b) KRB 500, (c) KRB 600, (d) KRB 700, dan (e) KRB 800

Berikut data yang ditampilkan Pada Tabel 1 berdasarkan hasil analisis uji *scanning electron microscope* (SEM) yang diolah dengan aplikasi Image J dan sudah di proses dengan Microsoft Excel. Dari Microsoft Excel akan didapat data distribusi pori pada permukaan spesimen yang diuji *scanning electron microscope* (SEM) yang dirata-ratakan menjadi jari jari pori.

Tabel 1. Ukuran rata-rata pori material karbon bamboo betung

Material	Σ Pori terbentuk	Σ Ukuran pori (µm)	Jari-Jari Pori(µm)
KRB400	54	205.6106	3.03
KRB500	92	323.8609	3.17
KRB600	48	204.5873	2.58
KRB700	139	348.2671	2.91
KRB800	134	395.7140	1.91

4.2 Sudut Kontak

Pengukuran sudut kontak yang di gunakan pada penelitian ini, berdasarkan pada pengukuran yang telah dilakukan Xu (Xu et al., 2013). Pengukuran dengan cara menambahkan garis bantu antara permukaan pori bambu betung dan menambahkan garis bantu yang menyinggung busur lingkaran pada droplet sehingga kedua garis bantu membentuk sudut. – dengan aplikasi image J. Semakin kecil sudut kontak yang terbentuk antara fluida dan material padat, maka material tersebut akan memiliki *wettability* yang makin besar [5]

Tabel 2. Data sudut kontak dan jari pori efektif

Material	Sudut kontak (°)	Jari-jari Pori Efektif (µm)
KRB 400	27.7	4.22
KRB 500	19.3	3.73
KRB 600	21.8	4.63
KRB 700	32.7	2.98
KRB 800	30.5	3.42

4.3 Karakteristik Porositas

Porositas ialah perbandingan antara volume pori yang terbentuk pada material dan volume total material. Pada penelitian ini, perhitungan nilai porositas berdasarkan pada perhitungan yang telah dilakukan Midiani (Midiani et al., 2019) dan Solomon (Solomon et al., 2020), dimana pengukuran dilakukan dengan mengukur massa awal spesimen saat dalam keadaan kering

dan massa akhir spesimen saat jenuh dengan air. Pengurangan antara keduanya adalah volume air yang terserap atau volume rongga yang ada pada arang. Dimana volume pori diketahui dari hasil perkalian volume air yang terserap dengan volume spesifik air saat jenuh. Diketahui volume spesifik air saat jenuh adalah 1003 mm³/gr. Berikut tabel data porositas yang didapat melalui pengujian kapilaritas.

Material	Mi (gr)	Mf (gr)	Mair (gr)
KRB400	3.48	6.44	2.96
KRB500	3.14	6.51	3.37
KRB600	3.06	6.07	3.01
KRB700	2.26	4.73	2.46
KRB800	2.96	5.20	2.24
<i>Vair/Vpori</i> (cm ³)	<i>Vmat</i> (cm ³)		Porositas (%)
2.9688	17.06		17.5
3.3755	19.47		17.3
3.0144	16.92		17.8
2.4737	15.01		16.5
2.2433	12.35		18.2

Tabel 3. Data porositas material karbon bambu betung

4.4 Karakteristik Permeabilitas

Permeabilitas adalah ukuran makroskopik kemudahan melewati rongga berpori suatu material. Dengan kata lain, permeabilitas mencerminkan efektivitas interaksi antara cairan dan bahan berpori, dan bukan merupakan sifat cairan atau bahan berpori. [6]. Berikut merupakan tabel data dari permeabilitas

Tabel 4. Permeabilitas Material Karbon Bambu Betung

Material	Jari-jari pori (µm)	Porositas (%)	Permeabilitas (m ²) 10 ⁻¹⁵
KRB 400	3.74	17.5	4.40
KRB 500	3.52	17.3	3.72
KRB 600	4.30	17.8	6.16
KRB 700	2.51	16.5	1.59
KRB 800	2.95	18.2	3.14

4.5 Laju Aliran Massa Fluida

Perpindahan panas sensibel terjadi antara udara luar dan massa air melalui permukaan material pad, sehingga besarnya laju perpindahan panas sensibel ini, dapat dianggap sama dengan panas yang didapat oleh air yang besarnya tergantung pada laju aliran massa fluida air pada material pad [7].

Dalam menentukan besarnya laju aliran massa fluida pada material arang bambu betung terdapat beberapa pengujian seperti yang telah dilakukan sebelumnya yaitu *wettability* untuk mendapatkan nilai sudut kontak, uji permeabilitas, uji *scanning electron microscope* (SEM) untuk mendapatkan struktur pori, dan uji kapilaritas untuk mendapatkan tegangan

Material	Permeabilitas ($m^2 \cdot 10^{-15}$)	Laju Aliran Massa ($kg/s \cdot 10^{-8}$)
KRB 400	4.40	8.85
KRB 500	3.72	10.3
KRB 600	6.16	12.8
KRB 700	1.59	3.68
KRB 800	3.14	5.57

permukaan.

Tabel 5 . Laju Aliran Massa Fluida Materialn Karbon Bambu Betung

Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat bahwa material KRB 600 memiliki laju aliran massa tertinggi dengan nilai 12.8×10^{-8} . Hal ini disebabkan oleh ukuran pori yang cukup besar dan porositas yang cukup tinggi pada material KRB 600 akan menghasilkan permeabilitas yang cukup besar dan dengan sudut kontak yang cukup besar dan dengan sudut kontak yang paling kecil material akan bersifat lebih *hidrofilik* (lebih mampu basah) dibandingkan dengan yang lainnya. Sementara KRB 700 memiliki laju aliran massa fluida terendah dengan nilai 3.68×10^{-8} dikarenakan memiliki nilai permeabilitas terendah serta nilai sudut kontak yang cukup besar sehingga kemampuan basahnya rendah. Dengan demikian, semakin tinggi permeabilitas dan sifat mampu basah (*wettability*) material, maka nilai laju aliran massa fluida yang dihasilkan semakin pula besar. Berikut merupakan gambar grafik hubungan permeabilitas dan laju aliran massa fluida.



Gambar 6. Grafik hubungan permeabilitas dan laju aliran massa fluida antara KRB 400, 500, 600, 700, dan 800°C

5. Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil penelitian diatas, dapat dikemukakan kesimpulan, material bambu betung yang dikarbonisasi pada temperature 600°C (KRB 600) menghasilkan laju aliran massa fluida tertinggi yakni sebesar 12.8×10^{-8} kg/s, dan laju aliran massa terendah sebesar 3.68×10^{-8} kg/s dihasilkan oleh material bambu betung yang dikarbonisasi pada temperature 700°C (KRB 700). Ukuran pori material karbon bambu betung yang lebih besar cenderung akan menghasilkan permeabilitas material yang lebih tinggi dan permeabilitas material yang lebih tinggi akan cenderung menghasilkan laju aliran massa fluida yang lebih besar.

Daftar Pustaka

- [1] Rizky Pratama Rachman, Bambang Yuniarto. 2014. **PENGARUH JENIS SPRAYER TERHADAP EFEKTIVITAS DIRECT EVAPORATIVE COOLING DENGAN COOLING PAD SERABUT KELAPA**. Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Vol. 2, No. 2. 78-82.
- [2] Lempang, M. 2014. **Pembuatan Dan Kegunaan Arang Aktif**. Info Teknis EBONI 2 (11):65-80. Makassar: Balai Penelitian Kehutanan Makassar.
- [3] Solomon, A. B., Mahto , A. K., Joy, R. C., Rajan, A. A., Jayprakash, D. A., Dixit, A., Sahay, A. 2020. **Application of bio-wick in compact loop heat pipe**. *Applied Thermal Engineering*, 169, 114927.
- [4] Xu, B., Liu, D., Xu, G., Zhang, X. & Bi, L. 2013. **A Measurement Method For Contact Angle Based On Hough Transformation**. *Measurement*, 46, 1109-1114.
- [5] Shirazy, M. R., Blais, S. & Fr chet te, L. G. 2012. **Mechanism Of Wettability Transition In Copper Metal Foams: From Superhydrophilic To Hydrophobic**. *Applied Surface Science*, 258, 6416-6424..
- [6] Berti, L. F., Bazzo, E., Santos, P.H.D., Janssen, R. 2011. **Evaluation of permeability of ceramic wick structures for two phase heat transfer devices**.
- [7] Ramkumar, Ramakrishnan. 2017. **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF INDIRECT EVAPORATIVE COOLER USING CLAY PIPE**. *Journal of Thermal Engineering*, Vol. 3, No. 2 pp. 1163-1180.



Alvin Dio Hutagalung menyelesaikan studi program sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2014 sampai 2022. Ia menyelesaikan studi sarjana dengan topik penelitian: Laju Aliran Massa Fluida Pada Material Karbon Bambu Betung Dengan Variasi Temperatur Karbonisasi 400, 500, 600, 700, dan 800°C.

Bidang penelitian yang diminati adalah materi-materi yang berhubungan dengan perpindahan panas, mekanika fluida, dan pendinginan evaporative air cooler.

Analisis Aliran Udara Di Sekitar Truk Pickup Yang Dipasanginya Terpal Di Bagian Bak Menggunakan Cfd

Fadhil Bhyantarah Nugraha, Anak Agung Adhi Suryawan, Dan Ainul Ghurri
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Truk Pickup merupakan salah satu kendaraan yang banyak digunakan di Indonesia. Truk pickup berguna untuk mengangkut barang-barang seperti bahan pangan, furniture, kargo, hewan ternak, dan juga untuk mengangkut penumpang di daerah yang jarang ada transportasi umum. Dalam penggunaan di lapangan, truk pickup seringkali dipasangi terpal. Model pemasangan terpal yang kerap digunakan antara lain model datar atau Tonneau Cover, model Aerocap, dan model cincing. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan mendeskripsikan faktor-faktor aerodinamika yang mempengaruhi kinerja truk pickup jika dipasangi terpal pada bagian bak dan apa pengaruhnya terhadap gaya aerodinamis kendaraan menggunakan metode simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) dengan software ANSYS Fluent. Hasil simulasi menunjukkan model terpal dengan permukaan yang luas dan berbentuk kotak seperti pada Model Terpal Aerocap dengan Sudut 0° (Tipe B) menghasilkan gaya hambat terbesar dikarenakan oleh meningkatnya skin drag dan sirkulasi di bagian wake yang akhirnya meningkatkan koefisien hambat dibanding model baseline. Model terpal dengan koefisien gaya hambat terendah ditunjukkan oleh Terpal Aerocap dengan Sudut Miring $15,72^\circ$ (Tipe C), karena bentuknya memiliki kemiringan mengakibatkan aliran di sekeliling pickup menjadi lebih aerodinamis. Gaya angkat yang terjadi sangat kecil dengan perubahan yang tidak signifikan, yang mana merupakan hal yang wajar untuk objek berbentuk pickup ini.

Kata kunci: Aerodinamika, Computational Fluid Dynamic (CFD), Gaya Hambat, Koefisien Gaya Hambat, Streamline

Abstract

Pickup trucks are one of the most widely used vehicles in Indonesia. Pickup trucks are useful for transporting goods such as food, furniture, cargo, livestock, and also for transporting passengers in areas where public transportation is scarce. Usually, pickup trucks are often fitted with tarpaulins. The tarpaulin installation models that are often used include the flat model or Tonneau Cover, the Aerocap, and the 'Cincing' model. This study aims to determine and describe the aerodynamic factors that affect the performance of a pickup truck when a tarpaulin is attached to the cargo bed and how it affect the aerodynamic force of the vehicle using the Computational Fluid Dynamic (CFD) simulation method with ANSYS Fluent. The simulation results show that the tarpaulin model with a broad and box-shaped surface like the Aerocap Tarpaulin Model with an angle of 0° (Type B) produces the largest drag force due to increased skin drag and circulation in the wake which ultimately increases the drag coefficient compared to the baseline model. The tarpaulin model with the lowest drag coefficient is shown by the Aerocap Tarpaulin with an angle of $15,72^\circ$ (Type C), because the shape has a slope that causes the flow around the pickup to be more aerodynamic and lower. The lift force that occurs is very small with insignificant changes, which is normal for this pickup-shaped object.

Keywords: Aerodynamic, Computational Fluid Dynamic (CFD), Drag Force, Coefficient of Drag, Streamline

1. Pendahuluan

Truk Pickup merupakan salah satu kendaraan yang banyak digunakan di Indonesia. Truk pickup berguna untuk mengangkut barang-barang seperti bahan pangan, furniture, kargo, hewan ternak, dan juga untuk mengangkut penumpang di daerah yang jarang ada transportasi umum.

Dalam praktiknya, truk pickup seringkali dipasangi dengan terpal pada bagian bak. Pemasangan terpal dapat mempengaruhi sifat aerodinamika pada truk pickup, seperti mengurangi gaya hambat. Ini dikarenakan aliran di bagian bak dapat menghasilkan sirkulasi besar dan menciptakan perbedaan tekanan yang besar antara bagian depan dan belakang truk, menyebabkan gaya hambat yang

tinggi^[1]. Pemasangan terpal juga dapat merubah bentuk bodi truk pickup menjadi lebih aerodinamis untuk mengurangi gaya hambat (*drag force*). Pola aliran udara disekitar bodi akan disimulasi menggunakan *computational fluid dynamics* (CFD), sehingga dapat mengoptimalkan kecepatan, mengoptimalkan perfroma mesin untuk menjadi gaya dorong traksi kendaraan, menghemat bahan bakar serta menjaga stabilitas kendaraan. Oleh karena itu, pengurangan gaya hambat atau *drag reduction* merupakan adalah isu yang penting dalam penelitian simulasi ini.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dan mendeskripsikan faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja truk pickup jika dipasangi terpal pada bagian

bak dan apa pengaruhnya terhadap gaya aerodinamis kendaraan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD).

2. Landasan Teori

2.1. Mekanika Aliran Udara di Sekitar Kendaraan

Aerodinamika otomotif adalah ilmu yang mempelajari tentang aerodinamika kendaraan jalan raya. Tujuan utamanya adalah mengurangi hambatan dan kebisingan angin, meminimalkan emisi kebisingan, dan mencegah gaya angkat yang tidak diinginkan dan penyebab lain dari ketidakstabilan aerodinamis pada kecepatan tinggi.

Secara umum fenomena aliran pada kendaraan dapat dikategorikan dalam 2 group yaitu aliran external dan aliran internal.

Aliran external yaitu aliran udara disekitar kendaraan dan aliran udara yang masuk ke dalam bagian kendaraan misalkan aliran pada bagian pendingin. Aliran internal merupakan proses aliran di dalam permesinan misalkan proses aliran fluida di dalam mesin dan sistem tranisi kendaraan^[2].

Aliran kotor di atas bodi kendaraan diatur oleh hubungan antara kecepatan dan tekanan yang dinyatakan dalam Persamaan Bernoulli.

2.2. Drag

Gaya hambat aerodinamis dicirikan oleh persamaan:

$$D_A = P_s + 1/2 \rho V^2 C_D A \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

D_A = Gaya hambat (N).

P_s = Tekanan stasis (Pa).

A = Luas frontal area kendaraan (m^2).

C_D = Koefisien hambat.

V = Kecepatan fluida relatif terhadap obyek (m/s).

Koefisien *drag* di persamaan (1) ditentukan secara eksperimental dari tes terowongan angin atau tes meluncur ke bawah. Definisi C_D berasal dari persamaan :

$$C_D = \frac{D_A}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \dots \dots \dots (2)$$

2.3. Computational Fluid Dynamic

Dinamika fluida komputasi atau *Computational Fluid Dynamics* adalah cabang aerodinamika di mana informasi aerodinamika diperoleh dari hitungan. CFD dan metode-metode numerik dalam bidang-bidang rekayasa lainnya semakin populer seiring meningkatnya kemampuan komputer dan harga komputer yang makin terjangkau. CFD menjadi alternatif yang lebih cepat dan murah dalam perancangan alat atau penelitian untuk mengetahui karakteristik suatu aliran dan interaksinya.

Saat ini, perkembangan teknologi CFD banyak dimanfaatkan sebagai penghubung dunia eksperimen

dan teori. CFD biasa digunakan untuk membantu menginterpretasikan dan memahami hasil teori dan eksperimen, begitu juga sebaliknya.

FLUENT® merupakan salah satu *software* yang ditawarkan oleh ANSYS. *Software* ini adalah salah satu dari jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga. FLUENT® dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan *mesh* (*grid*) yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah, karena FLUENT® menyediakan fleksibilitas *mesh* yang lengkap. FLUENT® didukung oleh jenis *mesh* tipe 2D *triangular-quadrilateral*, 3D *tetrahedral-hexahedral-pyramid-wedge*, dan *mesh* campuran (*hybrid*). FLUENT® juga memungkinkan untuk memperhalus atau memperbesar *mesh* yang sudah ada^[3].

3. Metode Uji

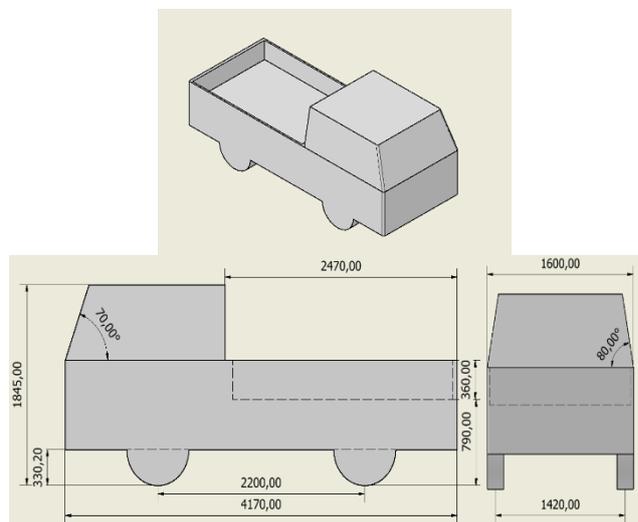
3.1. Alat & Bahan

Alat yang digunakan antara lain :

1. Laptop dengan spesifikasi Processor *Intel Core i7-8750H up to 2.20 GHz* dan RAM 8 GB.
2. *Software Autodesk Inventor*
3. *Software ANSYS Fluent*

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah model 3D kendaraan yang mendekati truk pikap jenis yang banyak beredar di Indonesia menggunakan *software Autodesk Inventor* dan dianalisa aerodinamis menggunakan *ANSYS Fluent*.

Dimensi dari model 3D tersebut juga dibuat mendekati dimensi asli truk pikap jenis Mitsubishi L300, dengan panjang 4.170 mm, lebar 1.600 mm, dan tinggi 1.845 mm.



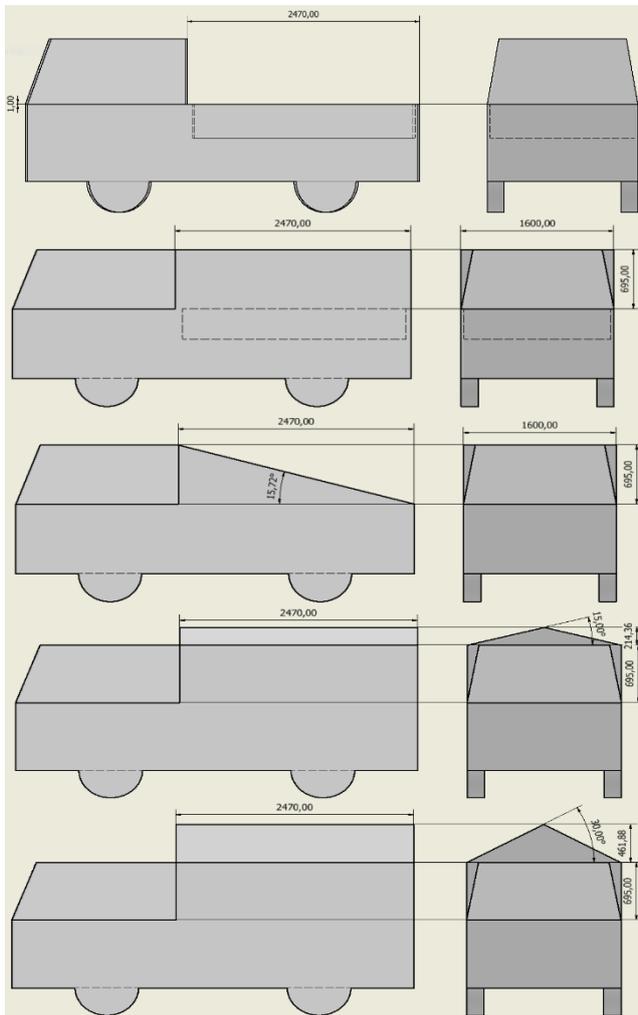
Gambar 1. Model 3D truk pikap

3.2. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel bebas pertama dalam penelitian ini adalah truk pikap tanpa terpal (**Baseline**), truk pikap dengan terpal rata yang hanya menutupi bak atau *Tonneau Cover* (**Tipe A**), truk pikap dengan terpal *aerocap* dengan sudut miring 0°

(**Typ** B), truk pikap dengan terpal aerocap dengan sudut miring $15,72^\circ$ (**Typ** C), dan truk pikap dengan terpal cincing dengan sudut kaki 15° (**Typ** D), dan trup pikap dengan terpal cincing dengan sudut kaki 30° (**Typ** E).



Gambar 2. Dimensi setiap konfigurasi terpal yang digunakan

Variabel bebas kedua yaitu kecepatan *inlet* yang divariasikan mulai dari 70 km/h, 80km/h, sampai 90 km/h.

2. Variabel Terikat

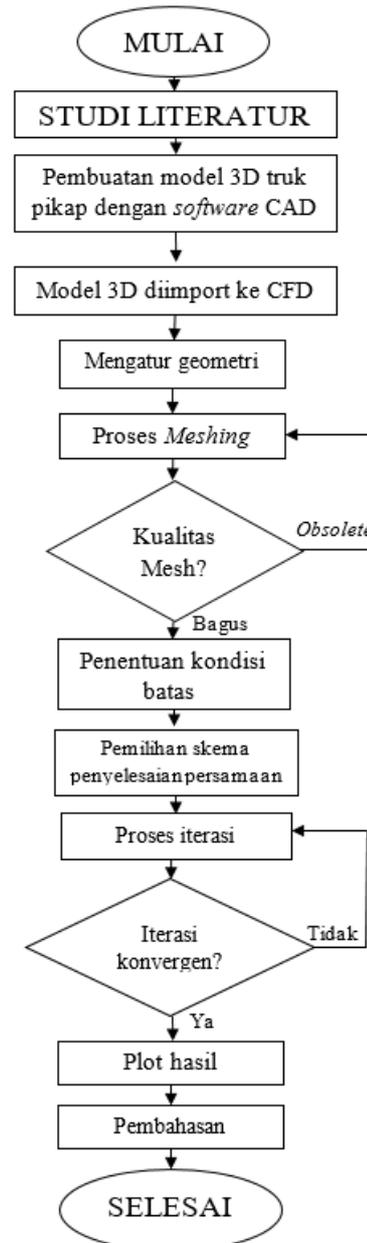
Variabel terikat dalam penelitian ini adalah

- Koefisien gaya hambat.
- Koefisien gaya angkat.
- Streamline* di sekitar truk pikap.
- Vektor kecepatan.
- Intensitas turbulensi.
- Distribusi tekanan.

3. Variabel Kontrol

Pada Variabel kontrol, tekanan atmosfer disetel sebesar 1 atm dan densitas udara sebesar 1,225 kg/m.

3.3. Diagram Alir



Gambar 3. Flowchart tahapan-tahapan penelitian

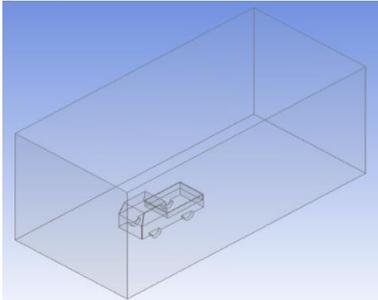
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Geometry

Model 3D truk pikap yang telah dibuat di *Inventor*, diexport dalam bentuk format file .stp kemudian diimport ke dalam *Design Modeler* pada Geometri dengan Base Plane, XYPlane.

Setelah itu dibuat wind tunnel dengan menggunakan *tools enclosure*, atur jarak *enclosure* dengan jarak ke atas empat kali lebih tinggi dari tinggi mobil, jarak ke belakang empat kali lebih panjang dari panjang mobil, jarak ke depan dua kali lebih panjang dari panjang mobil, dan jarak ke samping tiga kali lebih lebar dari lebar mobil. Posisikan ban mobil tidak menempel permukaan *enclosure* agar *mesh* bagian *wind tunnel* tidak terhubung dengan *mesh* 3D model mobil.

Selanjutnya buat *Boolean* pada menu *Create* agar bagian *enclosure* dan bagian 3D model mobil menjadi satu bagian. Gunakan *operation subtract*, *target bodies* pada bagian *enclosure*, dan *tool bodies* pada bagian 3D model mobil. Berikutnya berikan penamaan pada setiap sisi *wind tunnel* dengan menggunakan *named selection*. Gunakan *face selection* pada setiap sisi, seperti *inlet*, *outlet*, *wall* (berupa permukaan atas dan samping), dan *ground* untuk bagian permukaan bawah.



Gambar 4. Hasil pembuatan Enclosure di Geometry

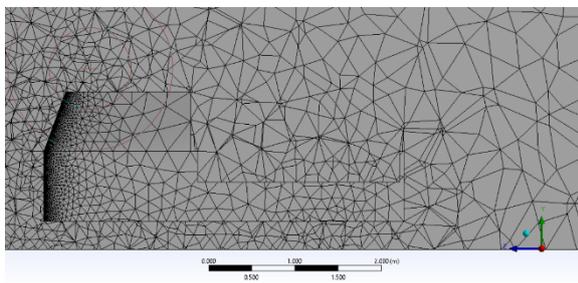
4.2. Mesh

Proses meshing merupakan proses diskretisasi domain fluida dimana segmen-segmen dari model mobil disatukan sehingga simulasi dapat dilakukan. Proses meshing memakan banyak waktu karena memilih elemen yang diinginkan dan sesuai dengan spesifikasi komputer yang digunakan untuk melakukan proses perhitungan numerik.

Di penelitian ini, digunakan ukuran elemen *default* serta kualitas *smoothness* dipilih yang *high*. Kualitas meshing dilihat dari metric *skewness* yang bernilai 0,2. Untuk mendapatkan hasil yang akurat, nilai *skewness* harus di bawah 0,98 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5.

Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Gambar 5. Kualitas *Skewness Meshing*



Gambar 6. Hasil *meshing Body* dengan ANSYS

Dari beberapa ukuran mesh yang telah dicoba baik dengan menggunakan ukuran mesh yang lebih kecil sekalipun, hasilnya tetap sama. Jadi, dalam simulasi ini digunakan ukuran elemen *default* serta memilih kualitas *smoothness* yang *high*. Mesh pada simulasi ini juga memasukkan method dalam jenis

cell tetrahedron. Hasil *meshing body* pada simulasi ini ditunjukkan pada Gambar 6.

4.3. Solving

Di penentuan kondisi batas, digunakan models dengan pilihan *k-epsilon* (2 eqn) yang mana merupakan simulasi aliran udara untuk menyelesaikan 2 variabel, yaitu energi kinetik turbulen dan rata-rata disipasi dari energi kinetik.

Dalam kasus ini, simulasi aerodinamika yang akan dilakukan dipengaruhi oleh udara pada lingkungan sekitar dengan nilai tekanan atmosfer sebesar 1 atm. Pada bagian inlet dimasukan kecepatan serang sebesar 70 km/h, 80 km/h, dan 90 km/h dengan *Velocity Specification Method* diubah menjadi *Magnitude, Normal to Boundary*, dan intensitas turbulen sebesar 5%.

Fluida yang digunakan pada penelitian ini adalah udara dengan sifat fisik sebagai densitas sebesar 1,225 kg/m dan viskositas sebesar 1,7894e-05 Kg/ms.

Scheme yang digunakan adalah *Coupled*. *Momentum* diubah menjadi *Second Order Upwind*. *Setting Second Order Upwind* lebih sulit dan membutuhkan waktu lebih lama untuk konvergensi, tetapi hasil konvergensinya akan lebih akurat dibandingkan *setting First Order Upwind*. Untuk mempersingkat waktu penghitungan, *Turbulence Kinetic Energy* dan *Turbulence Dissipation Rate* diubah menjadi *First Order Upwind*.

Pada *number of iterations*, jumlah iterasi di *setting* sebanyak 2000. Jika belum konvergen, jumlah iterasi akan terus ditambah sampai terjadinya konvergensi atau jika grafik menjadi lebih datar.

4.4. Distribusi Aliran

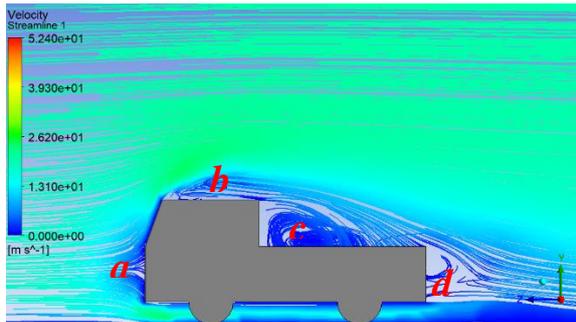
Jika dibandingkan dengan kecepatan 70 km/jam, tidak terlihat ada perbedaan signifikan pada visualisasi di kecepatan 80 km/jam dan 90 km/jam.

Gambar 7 menunjukkan pola aliran pada model *baseline* truk pikap. Di area "a" atau bagian depan pikap terdapat garis berwarna biru tua yang merupakan titik stagnasi dan menunjukkan kecepatan 0 m/s, ini terjadi karena tabrakan aliran udara sehingga laju aliran mengalami perlambatan dan menyebabkan tekanan yang tinggi pada bagian tersebut.

Di area "b", terjadi separasi aliran atau *flow separation* yang menyebabkan terjadinya *adverse pressure gradient* yang ditandai oleh aliran yang mengalir dari belakang ke depan (*backflow*).

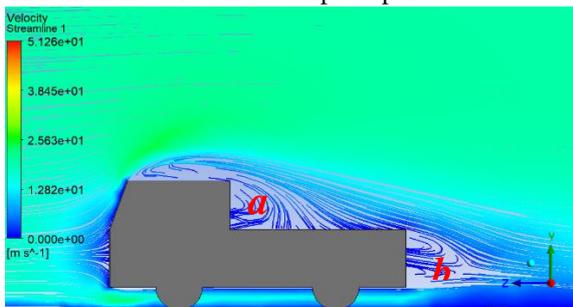
Pada area "c", aliran yang mengalir di bagian bak menghasilkan *blockade mass* yang menyebabkan terjadinya sirkulasi besar dan tebal ditunjukkan oleh garis berwarna biru yang menumpuk di dalam bak. Sirkulasi ini disebabkan oleh perbedaan tekanan pada bak pikap yang kosong dengan udara sekitarnya.

Olakan atau *wake* juga muncul di belakang bak ditunjukkan pada area "d".



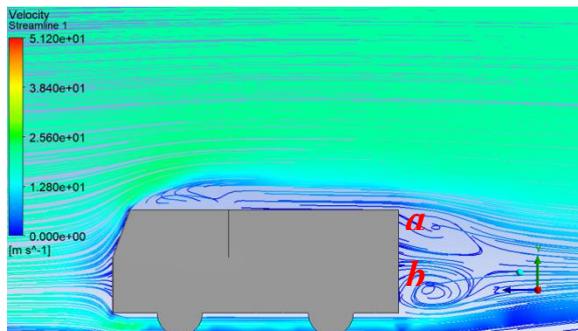
Gambar 7. Aliran Streamline pada model Baseline

Hasil simulasi pada model *baseline* yang ditambahkan terpal datar atau *Tonneau Cover* menunjukkan adanya pengurangan sirkulasi yang terjadi di bagian bak truk pikap, ditunjukkan pada area “a”. Bak trup pikap yang ditutupi terpal menghalangi udara untuk masuk ke dalam bak sehingga mengurangi *blockage mass*. *Wake* yang dihasilkan di belakang bak, ditunjukkan pada area “b” juga tampak lebih beraturan jika dibandingkan dengan *wake* yang dihasilkan model *baseline* tanpa terpal.



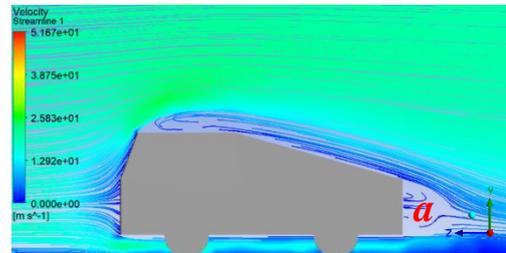
Gambar 8. Aliran Streamline pada model Terpal Tonneau Cover (Tipe A)

Gambar 9 menunjukkan bahwa model terpal *Aerocap* dengan kemiringan 0° justru menimbulkan *wake* yang lebih besar di bagian belakang truk pikap. Terdapat 2 *center of vortex* yang nampak jelas di area “a” dan “b”. Pada area A, muncul *starting vortex* dikarenakan oleh bentuk terpal yang kotak dan besar, yang mengakibatkan lebih kuatnya gaya hambat dan gaya gesekan pada terpal^[4]. *Vortex* ini diimbangi oleh *bound vortex* yang terjadi di area “b”.



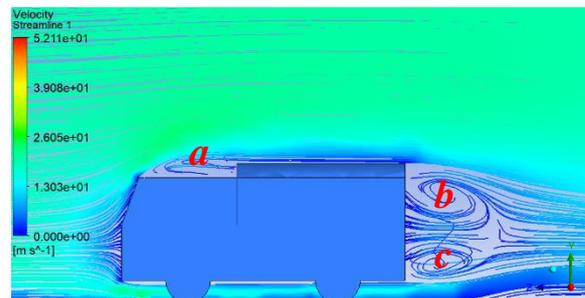
Gambar 9. Aliran streamline pada model terpal Aerocap dengan sudut 0° (Tipe B)

Gambar 10 menunjukkan hasil simulasi pada model terpal *aerocap* dengan sudut miring $15,72^\circ$. *Wake* yang dihasilkan pada aliran menumpuk pada area “a”. Jika dibandingkan dengan model terpal *aerocap* yang tidak dimiringkan, *wake* yang dihasilkan di bagian belakang bak jauh lebih kecil. Ini dikarenakan oleh bentuk terpal yang mengikuti aliran, sehingga gaya hambat dapat diminimalisir.

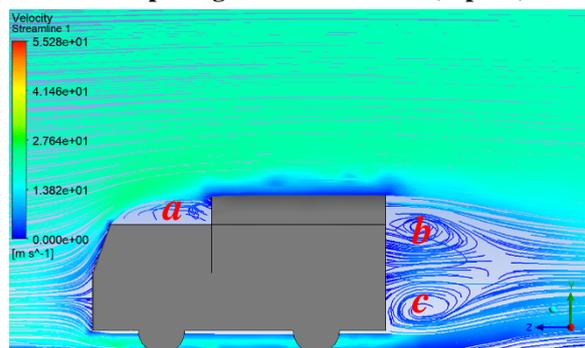


Gambar 10. Aliran Streamline pada model terpal aerocap dengan sudut miring $15,72^\circ$ (Tipe C)

Pada visualisasi aliran di Gambar 11 dan 12, terjadi *blockade mass* di area “a” akibat adanya terpal cincing yang menghalangi aliran sehingga dapat menambah gaya hambat. Terbentuk pula *wake* yang cukup besar di belakang mobil pikap dengan 2 *center of vortex* yang ditunjukkan oleh area “b” dan “c”.



Gambar 11. Aliran Streamline pada model terpal aerocap dengan sudut kaki 15° (Tipe D)



Gambar 12. Aliran Streamline pada model terpal aerocap dengan sudut kaki 30° (Tipe E)

4.5. Distribusi Tekanan

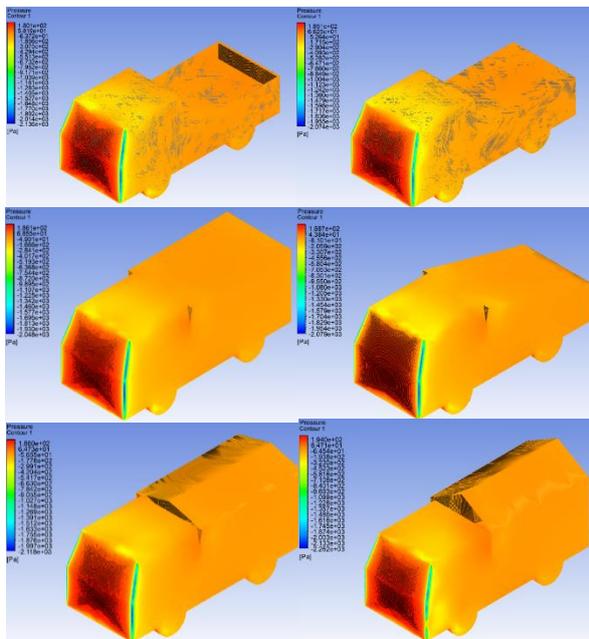
Gambar 13 menunjukkan visualisasi kontur tekanan pada setiap model terpal. Dapat dilihat adanya perbedaan nilai gradien tekanan dan kecepatan udara pada lokasi yang berbeda terutama

di bagian-bagian tertentu yang memiliki nilai gradien tekanan maupun nilai kecepatan angin yang tinggi.

Jika dibandingkan dengan model *baseline* tidak nampak ada perbedaan warna yang signifikan di antara semua kontur tekanan pada setiap model, yang berbeda hanyalah besar nilai tekanan dari semua tipe terpal dengan *baseline*.

Sebagai contoh, bagian yang tidak nampak ada perbedaan yaitu bagian depan pikap, tepatnya di bagian kap depan yang ditunjukkan dengan warna merah, memiliki nilai gradien tekanan yang paling tinggi pada mobil dikarenakan bagian tersebut merupakan bagian yang paling depan saat mobil menabrak aliran udara sehingga nilai gradien tekanan udaranya sangat besar yang ditunjukkan dengan warna merah gelap.

Tekanan menurun drastis hingga menjadi negatif di rangka depan mobil yang berwarna biru tua, biru muda, hijau, dan kuning, dengan tekanan bervariasi. Semakin ke belakang, tekanan semakin bertambah, ditunjukkan dengan kontur yang berwarna oranye.



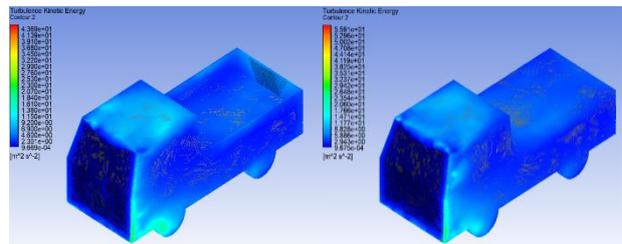
Gambar 13. Perbandingan kontur distribusi tekanan pada setiap konfigurasi terpal

4.6. Distribusi Intensita Turbulensi

Pada visualisasi kontur di **Gambar 14-16**, dapat dilihat adanya perbedaan nilai gradien intensitas turbulensi pada lokasi yang berbeda terutama di bagian-bagian tertentu yang memiliki nilai intensitas turbulensi yang tinggi.

Pada model *Baseline* dan terpal Tipe A di **Gambar 14**, terlihat pada bagian kap depan memiliki energi kinetik turbulen yang paling rendah, ditunjukkan dengan warna biru tua. Pertumbuhan energi drastis terjadi di bagian atas dan samping kap mobil pikap, di dalam dan pinggir bak pikap, dan juga di sebagian roda depan yang ditunjukkan oleh warna biru muda dan hijau-kebiruan. Peningkatan

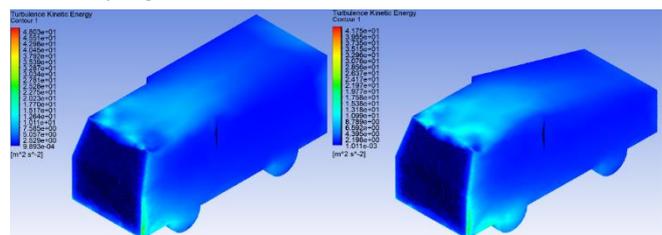
kemudian terjadi lagi di roda belakang dan bagian belakang bak.



Gambar 14. Kontur distribusi intensitas turbulen pada model *Baseline* dan model terpal Tonneau Cover (Tipe A)

Pada model terpal Aerocap Tipe B dan Tipe C yang ditunjukkan pada **Gambar 15**, nampak ada perubahan pada warna kontur. Sama seperti model *baseline*, terlihat pada bagian kap depan memiliki energi kinetik turbulen yang paling rendah, ditunjukkan dengan warna biru tua. Pertumbuhan energi terjadi di bagian kap atas yang berlanjut ke bagian atas terpal sampai ke bagian belakang bak.

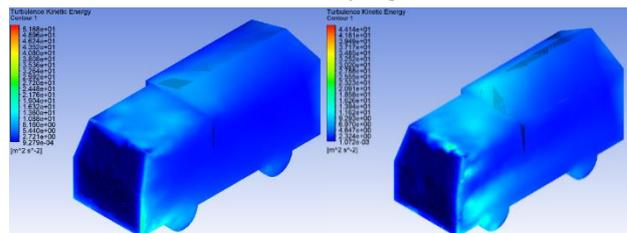
Terdapat pula peningkatan intensitas turbulen di bagian belakang terpal yang dikarenakan oleh *wake* yang dihasilkan.



Gambar 15. Distribusi intensitas turbulen pada model terpal aerocap dengan sudut miring 0° (Tipe B) dan 15,72° (Tipe C)

Pada model terpal cincing Tipe D dan Tipe E yang ditunjukkan oleh **Gambar 16**, nampak ada perubahan pada warna kontur.

Sama seperti model *baseline*, terlihat pada bagian kap depan memiliki energi kinetik turbulen yang paling rendah, ditunjukkan dengan warna biru tua. Pertumbuhan energi terjadi di bagian kap atas yang berlanjut ke bagian atas terpal sebelum menyempit di sepanjang bagian atas, ditandai dengan warna biru muda. Terdapat pula peningkatan intensitas turbulen di bagian belakang terpal yang dikarenakan oleh *wake* besar yang dihasilkan.

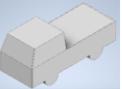
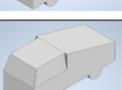
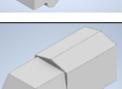


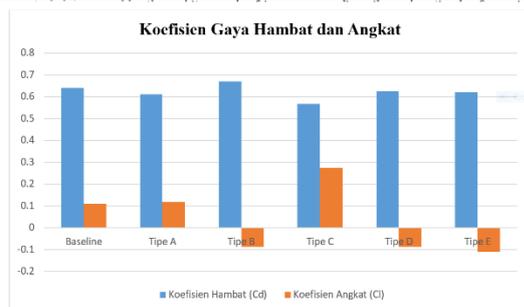
Gambar 16. Kontur distribusi intensitas turbulen pada model terpal cincing dengan sudut kaki 15° (Tipe D) dan 30° (Tipe E)

4.7. Gaya Hambat dan Angkat

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, berikut adalah data koefisien hambat dan angkat yang diperoleh, serta perbandingan semua tipe specimen jika dibandingkan dengan model *baseline*.

Tabel 1. Tabel hasil penghitungan koefisien gaya aerodinamika pada setiap konfigurasi

Konfigurasi	Model 3D	Koefisien Hambat (C _d)	Perbedaan dari Baseline (%)	Koefisien Angkat (C _L)	Perbedaan dari Baseline (%)
Baseline		0,6407	-	0,1102	-
Tipe A		0,6116	-4,542	0,119	7,985
Tipe B		0,6711	4,744	-0,0866	-178,58
Tipe C		0,5683	-11,30	0,2763	150,72
Tipe D		0,6241	-2,59	-0,0875	-179,40
Tipe E		0,6193	-3,34	-0,1093	-199,18



Gambar 17. Grafik hasil penghitungan koefisien gaya aerodinamika pada setiap konfigurasi terpal

Pada Tabel 1 dan grafik Gambar 17, koefisien hambat terendah serta koefisien angkat tertinggi ditunjukkan pada model terpal *Aerocap* dengan sudut miring 15,72° (Tipe C). Sementara, koefisien hambat tertinggi ditunjukkan pada model terpal *Aerocap* dengan sudut miring 0° (Tipe B) dan koefisien angkat terendah dicapai oleh model terpal cincing dengan sudut kaki 30° (Tipe E).

Secara teoritis, gaya hambat ditimbulkan oleh tekanan dari arah dan secara frontal menabrak

kendaraan aliran (*pressure drag*) dan tekanan yang terdistribusi di seluruh permukaan benda (*skin drag*). Selain kedua hal tersebut gaya hambat dipengaruhi oleh pola aliran yang terjadi di sekeliling kendaraan dalam bentuk separasi, sirkulasi, *blockage mass* dan *wake* di belakang kendaraan. Gaya hambat yang terjadi merupakan kombinasi dari hal-hal tersebut di atas. Secara umum perubahan koefisien hambat yang terjadi tidak terlalu signifikan.

5. Kesimpulan

Dari hasil-hasil simulasi diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Distribusi tekanan dan *streamline* pada truk pikap bervariasi sesuai bentuk pemasangan terpal yang disebabkan oleh separasi aliran, sirkulasi, dan *wake* (olakan) di sekeliling pikap,
2. Model terpal dengan permukaan yang luas dan berbentuk kotak seperti pada Model Terpal *Aerocap* dengan Sudut 0° (Tipe B) akan menghasilkan gaya hambat yang besar dikarenakan oleh meningkatnya *skin drag* dan sirkulasi di bagian *wake* yang akhirnya meningkatkan koefisien hambat dibanding pikap *baseline*. Model terpal dengan koefisien gaya hambat terendah ditunjukkan oleh Terpal *Aerocap* dengan Sudut 15,72° (Tipe C), karena bentuknya memiliki kemiringan mengakibatkan aliran di sekeliling pikap menjadi lebih aerodinamis. Gaya angkat yang terjadi sangat kecil dengan perubahan yang tidak signifikan, yang mana merupakan hal yang wajar untuk objek berbentuk pikap ini.

Daftar Pustaka

- [1] Adem F., 2009, *CFD Analysis of Drag Reduction Using External Devices on Pickup Trucks*. Department of Mechanical Engineering, California State University, USA.
- [2] Munson B., 2002, *Fundamentals of fluid mechanics*. John Wiley and Sons. New York, USA.
- [3] ANSYS, Inc., 2021, *About Ansys*. Retrieved from ANSYS: <https://www.ansys.com/>.
- [4] Usada W., 2020, Visualisasi Fenomena Fisik Aerodinamika Suatu Kendaraan Model. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali, Vol. 9 No. 3, pp. 916-918

	<p>Fadhil Bhyantarah Nugraha menyelesaikan pendidikan S1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin, Tahun 2022.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah bidang konversi energi</p>	

Analisis Karakteristik Bahan Alam Sebagai Adsorben Pada Pengkondisian Udara Adsorpsi

Aqsal Raja Bramastha, Made Sucipta, Hendra Wijaksana
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Agar merasa nyaman dan sejuk dalam suatu ruangan, digunakan sistem air conditioning (AC) yang menggunakan kompresor dan butuh pemasok energi listrik yang cukup besar sehingga meningkatkan angka pemanasan global dan terjadinya krisis energi. Merujuk pada hal tersebut, dibutuhkan sistem pendingin yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan. Salah satu alternatif yaitu dengan menggunakan bahan alam sebagai adsorben dalam pengkondisian udara adsorpsi. Dalam sistem tersebut, perubahan kadar kelembaban terjadi karena adanya proses penyerapan kelembaban udara pada setiap material uji didalam packed bed. Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengetahui regenerasi karakteristik dari bahan alam dan karbon aktif, serta kinerjanya terhadap kelembaban. Karakteristik yang diuji juga meliputi uji sudut kontak dan uji proximate. Selain jenis material, dilakukan juga variasi massa 200gr, 400gr, dan 600gr dan juga variasi gabungan antar material. Hasil yang didapat dari pengujian regenerasi sebanyak 9 kali, bahan alam memberikan pengaruh terhadap pengkondisian udara. Semakin besar massa yang diujikan, semakin meningkat kemampuannya dalam menurunkan kelembaban. Dalam artian lain, karbon aktif 600gr memberikan kinerja paling optimal diantara bahan alam lainnya, baik dalam variasi massa maupun variasi gabungan

Kata kunci: Pengkondisian udara adsorpsi, bahan alam, karakteristik, regenerasi, dan kelembaban

Abstract

To feel comfortable and cool in a room, an air conditioning (AC) system is used which is uses a compressor and requires a large amount of electrical energy, thereby increasing global warming and the occurrence of an energy crisis. Referring to this, a cooling system that is more environmentally friendly, efficient, save energy is needed. One of the alternative is use natural materials as adsorbents in adsorption air conditioning. In this system, changes in moisture content occur due to the process of absorption of air moisture in each test material in the packed bed. This study aims to determine the regeneration characteristics of natural materials, activated carbon, as well as their performance against moisture. The characteristics tested also include contact angle test and proximate test. In addition to the type of material, mass variations of 200gr, 400gr, and 600gr are also carried out as well as variations in the combination between materials. The results obtained from the regeneration test 9 times, natural ingredients have an effect on air conditioning. The larger the mass tested, the greater its ability to reduce humidity. In another sense, 600gr activated carbon provides the most optimal performance among other natural materials, mass variations and combined variations.

Keywords: Adsorption air conditioning, natural materials, characteristics, regeneration, and humidity

1. Pendahuluan

Batu bara, minyak bumi, gas alam merupakan salah satu sumber daya alam yang paling sering digunakan, sehingga semakin hari mengalami krisis ketersediaan. Dampak lain yang ditimbulkan yaitu pemanasan global. Pemanasan global yang semakin tinggi angkanya terjadi karena meningkatnya emisi gas rumah kaca di atmosfer, emisi ini berasal dari proses pembakaran bahan bakar fosil (minyak bumi dan batu bara). Salah satu penyebab pemanasan global yakni pemakaian pendingin ruangan atau Air Conditioner (AC). Hal ini disebabkan karena pada pendingin ruangan tersebut membutuhkan refrigerant, dimana salah satunya adalah CFC (*chlorofluorocarbon*). Klorin (chlorine), fluorin (fluorine), dan karbon (carbon) merupakan zat kimi yang terkandung pada CFC. CFC memberikan dampak yang buruk karena memiliki sifat yang dapat merusak lapisan ozon. CFC akan terurai ketika sampai di stratosfer karena intensitas sinar ultraviolet dari matahari, kemudian melepaskan atom klorin

(Cl). Ribuan molekul ozon dapat terpisahkan atau terpecahkan karena satu molekul atom klorin, sehingga penipisan pun terjadi pada lapisan ozon [1].

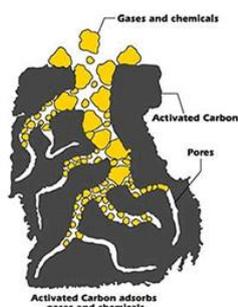
Sebesar 60% penggunaan listrik pada hotel di kota Jakarta dipergunakan untuk menyuplai energi pada mesin pendingin [2]. Untuk mengatasi dan mengurangi dampak krisis energi dan pemanasan global tersebut, dapat dilakukan pengembangan sebuah sistem pengkondisian udara secara adsorpsi [3]. Proses yang terjadi disaat suatu fluida (cair atau gas) terikat pada suatu padatan (penyerap atau adsorben) dan terbentuknya suatu lapisan tipis atau film (zat terserap: adsorbat) di permukaannya yakni disebut Adsorpsi. Dalam Pengujian ini, adsorben yang digunakan sebagai material pengkondisian udara adsorpsi merupakan adsorben bahan alam, seperti karbon aktif berbasah dasar tempurung kelapa, zeolite, dan batu apung yang nantinya akan digabungkan.

Pengujian regenerasi dalam penelitian ini dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan untuk

mengetahui regenerasinya dengan durasi selama 2 jam di dalam ruang uji pengkondisian udara. Dengan temperatur pemanasan pada oven 120°C durasi waktu 30 menit. Untuk mengetahui lebih lanjut terkait sifat setiap material uji, dilakukan pengujian sudut kontak dan juga uji proximate.

2. Dasar Teori

Adsorpsi adalah sebuah peristiwa dimana terjadinya molekul-molekul dari suatu senyawa terjerap atau terikat oleh permukaan zat padat. Adsorpsi adalah proses yang terjadi ketika suatu fluida terikat pada sebuah padatan kemudian membentuk suatu lapisan tipis pada permukaannya. Adanya gaya tarik menarik antara sebuah molekul adsorbat dan tempat aktif pada suatu permukaan adsorben menyebabkan terjadinya adsorpsi. Untuk memahami proses yang terjadi pada adsorpsi, dapat diperhatikan ilustrasi Gambar 1 dibawah.



Gambar 1. Skema proses adsorpsi
(<https://vertexenvironmental.ca/>)

Adsorben merupakan suatu zat atau bahan/material yang mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mempertahankan suatu cairan atau gas di dalamnya [4]. Adsorben adalah material yang memiliki pori-pori dan adsorpsi terjadi pada dinding pori atau daerah tertentu pada pori tersebut. Terdapat dua jenis adsorben, yakni adsorben polar dan adsorben nonpolar [5].

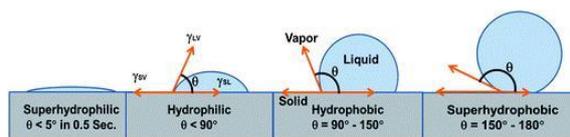
1. Adsorben polar atau disebut juga *hydrophilic*, diantaranya seperti zeolite, silica gel, alumina aktif.
2. Adsorben non-polar atau *hydrophobic*, contoh adsorben yang tergolong dalam kelompoknya yakni karbon aktif dan polimer adsorben.

Jenis adsorben yang sering kali digunakan dalam sistem adsorpsi dan juga adsorben yang akan digunakan dalam pengujian ini yakni karbon aktif. Hal ini dikarenakan luas permukaan juga kemampuan adsorpsi yang dimiliki karbon aktif lebih baik dibandingkan jenis adsorben lainnya. Luas permukaan karbon aktif yang besar disebabkan karena memiliki struktur pori-pori. Pori-pori tersebutlah yang menjadikan karbon aktif berkemampuan untuk menyerap [6].

Zeolit mempunyai beberapa sifat, seperti mudah melepas air karena pemanasan, namun zeolite juga

mudah mengikat dan menarik kembali molekul air dalam udara lembab. Sifat zeolit sebagai salah satu jenis adsorben dan sebagai penyaring molekul terjadi karena struktur zeolite yakni berongga. Karena itulah zeolit dapat menyerap sejumlah besar molekul-molekul yang memiliki ukuran lebih kecil atau sama dengan ukuran rongga yang dimilikinya. Batu apung atau *pumice* merupakan salah satu bahan alam dan juga salah satu jenis adsorben yang mempunyai harga atau biaya yang lebih ekonomis, dan memiliki tingkat efektifitas baik. Struktur batu apung sendiri berpori dan terkandung banyak kapiler-kapiler halus. Hal itu membuat adsorbat akan teradsorpsi pada kapiler.

Sudut kontak merupakan sudut yang terbentuk antara bidang datar suatu material uji dan permukaan cairan atau droplet yang ditetaskan pada material uji. Dari pengamatan langsung terhadap sudut kontak, nantinya akan diketahui material yang diuji memiliki sifat *hydrophilic* atau *hydrophobic*. Suatu bahan dapat disebut hidrofobik jika air sulit mengalir pada permukaan material, dan disebut hidrofilik jika air dengan mudah mengalir pada permukaan tersebut [7]. Gambar 2 menunjukkan ilustrasi nilai sudut kontak.



Gambar 2. Sudut kontak
(Rohaeti, 2017)

3. Metode Penelitian

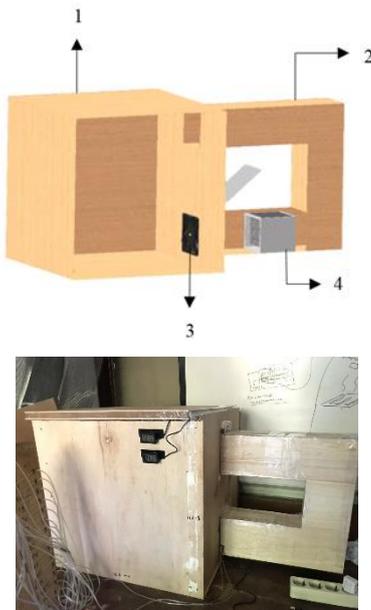
Alat dan bahan yang dibutuhkan dan digunakan pada penelitian pengkondisian udara ini sebagai berikut:

1. Ruang uji pengkondisian udara
2. Oven listrik (proses pemanasan untuk menghilangkan kadar air)
3. Timbangan digital
4. Inclined manometer
5. Higrometer
6. Packed bed
7. Saringan mesh
8. Stopwatch

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan proses pengujian, yang pertama yaitu proses pemanasan menggunakan oven, pengujian regenerasi pada ruang uji, pengujian sudut kontak, dan terakhir pengujian proximate. Masing-masing pengujian tersebut memiliki prosedur pengujiannya tersendiri dan berbeda satu sama lain. Pada tahap ini, material berupa karbon aktif, zeolite, dan batu apung yang sudah didapatkan secara komersial digabungkan dengan perbandingan 1:1 atau dengan total massa keseluruhan material gabungan sebesar 600gr. Material gabungan diuji daya serapnya terhadap

kelembaban udara pada model ruang uji dengan sirkulasi udara melalui tumpukan packed bed yang sudah disiapkan.

Material gabungan karbon aktif + zeolite + batu apung (KA+ZE+BA) diuji regenerasi dan kemampuannya dalam menyerap kelembaban hingga mencapai kondisi jenuh. Kondisi jenuh tersebut ditandai dengan tidak adanya lagi penambahan massa dan perubahan kelembaban. Gambar 3 berikut merupakan ruang uji yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3. Ruang uji pengkondisian udara

keterangan:

1. Ruang uji dibangun menggunakan bahan dasar triplek yang berdimensi 50cm x 50cm
2. Saluran ruang uji berukuran 40cm x 8cm
3. Kipas komputer berukuran 8cm x 8cm
4. Wadah material uji atau *packed bed*

Masing-masing material diuji kemampuan dalam menyerap kelembaban udara pada interval waktu tertentu dengan tahapan seperti berikut ini:

1. Pemanasan
Sebelum dilakukan pengujian, seluruh material uji dikeringkan secara berbarengan terlebih dahulu dengan cara memanaskannya dalam oven pada temperatur dan durasi waktu yang sama yakni 30 menit pada temperatur 120oC. Setelah di oven, material gabungan akan didiamkan terlebih dahulu sampai temperatur sama dengan temperatur ruangan.
2. Penimbangan
Pada penelitian ini seluruh material diuji secara berkelompok atau digabungkan, kemudian ditimbang sesuai massa yang telah ditentukan dengan rasio 1:1. dengan masing-masing massa per material yakni 200gram dimana total keseluruhan berat material gabungan yakni 600gram.

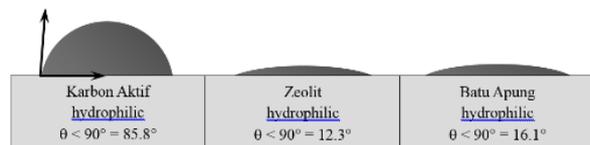
3. Penyerapan

Material yang telah digabungkan dan ditimbang, diuji regenerasinya selama 2 jam untuk ruang uji yang dibuat. Setiap pengujian individu dilakukan berulang sebanyak 5 kali mulai dari proses pengeringan untuk mengetahui regenerasinya. Hasil akhir diamati dan diukur temperatur dan kelembaban dari ruang uji tersebut.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil uji sudut kontak

Besar nilai sudut kontak suatu permukaan material bahan terhadap tetesan cairan diperoleh dengan cara pengamatan langsung menggunakan kamera digital dengan pengaturan *high speed*. Hasil pemotretan diolah menggunakan aplikasi software *Image J* untuk menentukan besar sudut secara akurat. Hasil uji sudut kontak dan ilustrasinya dapat diperhatikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Nilai sudut kontak pada setiap permukaan material

Pada Gambar 4 yang sudah dipaparkan tersebut menunjukkan bahwa seluruh material uji memiliki sifat *hydrophilic* atau dengan arti air dapat mengalir pada permukaan material tersebut. Hal itu dikarenakan nilai sudut kontak yang dimiliki memiliki nilai dibawah 90°. Dapat juga diperhatikan dalam bentuk tabel pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Nilai sudut kontak

Material	Sudut Kontak (°)	Cosθ
Karbon Aktif	85.8°	0.147
Zeolit	12.3°	0.977
Batu Apung	16.1°	0.96

4.2. Hasil Uji Proximate

Hasil uji dari pengujian proximate analisis yang sudah dilakukan pada setiap masing-masing material dapat diperhatikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil uji proximate

Material	Moisture (%)	Volatile (%)	Ash (%)	Fixed carbon (%)
Karbon aktif	7.86	16.29	1.19	74.65
Zeolit	5.5	9.47	85.2	0.01
Batu apung	6.73	7.86	85.37	0.03

Pada Tabel 2, material yang memiliki kandungan *moisture* paling rendah adalah material bahan alam zeolit yaitu sebesar 5.5% sedangkan material dengan kandungan paling tinggi dengan angka 7.86% yaitu karbon aktif. Merujuk pada standar SNI 06-3730-1995 kadar *moisture* untuk karbon aktif maksimal 15%. Untuk kadar *volatile* pada bahan alam batu apung memiliki kandungan cukup rendah yakni 9.47%, dan zeolite 9.47%. Jika dilihat lebih lanjut, *fixed carbon* pada Tabel 2 yang didapatkan pada sampel karbon aktif cukup tinggi yakni 74.65%. Batas minimal untuk kadar *fixed carbon* pada karbon aktif yaitu 65%. Diambil kesimpulan karbon aktif yang digunakan pada penelitian pengkondisian udara ini sesuai dengan standar SNI dan menunjukkan karbon yang tertinggal cukup besar walau sudah dilakukannya penentuan kadar *moisture*, ash, dan *volatile*.

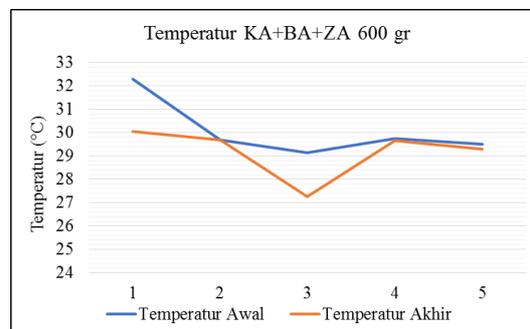
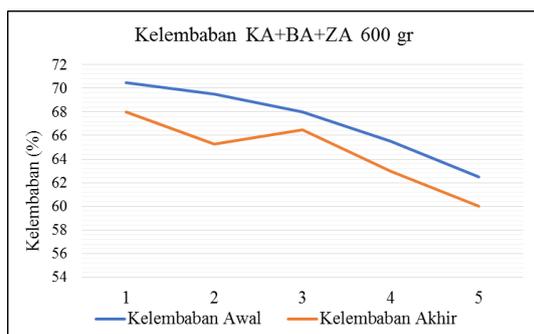
4.3. Analisa Data

Pengujian variasi kelompok dilakukan secara berulang sebanyak 5 kali, dikarenakan setelah pengujian ke-5 material cenderung tidak memberikan perubahan yang signifikan dan tidak adanya penurunan pada kelembaban ruang uji. Tabel 3 dibawah ini merupakan hasil penelitian dari pengujian variasi kelompok atau gabungan.

Tabel 3. Hasil pengujian regenerasi gabungan

Material	Uji Regenerasi	Temperatur (°C)		Kelembaban (%)		Massa (gram)		Tekanan (cmHg)	
		Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
KA+BA+ZA	1	32.3	30.05	70.5	68	600.6	601.9	2.2	2.2
	2	29.7	29.7	69.5	65.25	600.4	601.7	2.2	2.2
	3	29.15	27.25	68	66.5	601.5	603.1	2.2	2.2
	4	29.75	29.65	65.5	63	601.2	602.4	2.2	2.2
	5	29.5	29.3	62.5	60	601.4	602.9	2.2	2.2
	Rata-rata	30.08	29.19	67.2	64.55	601	602.4	2.2	2.2

Hasil uji pada Tabel 3 diatas, tingkat penurunan kelembaban yang terjadi pada variasi kelompok KA+BA+ZE menyentuh angka terendah yakni 60%. Agar lebih terinci, dapat diamati secara grafik seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik tingkat penurunan kelembaban dan temperatur

Dapat disimpulkan berdasarkan Gambar 5 diatas, bahwa kinerja material gabungan karbon aktif, batu apung, zeolit (KA + BA + ZE) cukup baik. Tingkat penurunan kelembaban yang dicapai yakni 3.94% dari 67.2% menjadi 64.55% diiringi dengan penurunan temperatur paling besar pula yaitu 2.96%. Karakteristik regenerasi yang terjadi pada kelompok gabungan KA+BA+ZE cukup baik walau hanya dapat menurunkan kelembaban di angka 3-4% dan temperatur 1-2°C saja dibandingkan massa udara yang ada pada ruang uji. Saat material diujikan, sebelum waktu pengujian selesai material tersebut sudah terlebih dahulu jenuh untuk menyerap uap air yang berada di dalam ruang uji. Sehingga penurunan temperatur dan kelembaban yang terjadi tidak terlalu besar.

5. Kesimpulan

Melihat hasil dari penelitian dan beberapa pengujian regenerasi yang sudah dilakukan, didapat kesimpulan yaitu:

1. Penggabungan material antara karbon aktif, zeolite, dan batu apung dengan tujuan untuk meningkatkan kemampuan penyerapan kelembaban udara masing-masing material dapat digolongkan belum berhasil. Sehubungan dimana tingkat penurnan temperatur yang dihasilkan termasuk tidak signifikan, yakni hanya 2.96% saja atau 0.89°C.
2. Penurunan temperatur yang tidak terlalu signifikan terjadi karena pada saat uap air di udara terjerap di permukaan material, terjadinya proses kondensasi yang menyebabkan penurunan temperatur walaupun dengan angka yang tidak besar.

Daftar Pustaka

- [1] Cahyono, E. 2005. *Pengaruh Penipisan Ozon terhadap Kesehatan Manusia. Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim*. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN). Bandung.
- [2] Berman, E. T. 2012. *Pengaruh Penggunaan Suction Liquid Heat Exchanger dan Tube in Tube Heat Exchanger Pada Refrigerator Terhadap Daya Kompresor dan Waktu Pendinginan*. Jurnal Energi Dan Manufaktur Vol, 5(1), 1-97.
- [3] Hariyono, H., & Martin, A. *Rancang Bangun Sistem Pendingin Adsorpsi dengan Pasangan Karbon Aktif-Metanol sebagai Adsorben-Adsorbat* (Doctoral dissertation, Riau University).
- [4] Suryawan, B. 2004, "*Karakteristik Zeolit Indonesia sebagai Adsorben Uap Air*" , Disertasi, Universitas Indonesia, Jakarta
- [5] Saragih. 2008, *Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Batubara Riau Sebagai Adsorben*, Tesis, Pascasarjana Universitas Indonesia, Jakarta.
- [6] Sudibandriyo, M. (2003). *A Generalized Ono-Kondo Lattice Model For High Pressure on Carbon Adsorben*, Ph.D Dissertation, Oklahoma State University
- [7] Samsurizal, S. 2018. *Studi Sifat Transfer Hidrofobik Dari Bahan Isolator Polimer Silicone Rubber Akibat Pengaruh Cuaca Didaerah Tropis Perkotaan*. Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer, 7(2), 288-295.

	<p>Aqsal Raja Bramastha Putra Fladiner menyelesaikan pendidikan S1 di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana Tahun 2022.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati yaitu topik-topik yang berhubungan dengan termodinamika dan refrigerasi.</p>	

Studi Eksperimental Karakteristik Kerja Kapiler Material Karbon Aktif Bambu Betung Tanpa *Holding Time*

I Gede Wahyu Wiwekanyana, Hendra Wijaksana, I Gusti Ngurah Putu Tenaya
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Evaporative cooling adalah fenomena fisik dimana penguapan air dari media (*cooling pad*) yang basah ke udara yang mengalir dan terjadi kontak keduanya akan menyebabkan pendinginan pada media. Salah satu komponen utama sistem *direct evaporative cooling* adalah material pad. Material pad harus memiliki konduktivitas termal yang tinggi atau gaya kapiler (*capillary force*) yang besar. Gaya kapiler yang bekerja pada material dan mampu menaikkan sejumlah massa air hingga mencapai ketinggian tertentu pada permukaan material akan menghasilkan kerja kapiler material tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik kerja kapiler material pad berbasis karbon aktif bambu betung tanpa *holding time*. Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahap pengujian yaitu proses pengeringan bambu, karbonisasi dan aktivasi, dan pengujian SEM. Material dasar bambu betung akan dikarbonisasi dengan temperatur karbonisasi 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C, sebelum akhirnya diaktivasi pada temperatur aktivasi 600°C tanpa *holding time* yang bertujuan untuk membuka pori pori bambu yang lebih kecil. Dengan adanya kedua perlakuan termal tersebut diatas, diharapkan akan meningkatkan struktur pori dan porositas bambu betung sehingga mampu menghasilkan kerja kapiler yang tinggi untuk mengangkat lebih banyak massa air ke dalam material karbon aktif bambu betung. Selanjutnya dilakukan pengujian uji SEM (Scanning Electron Microscope) untuk mendapatkan karakteristik struktur pori sampel. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kerja kapiler terbesar dihasilkan oleh material karbon aktif bambu betung BCR 400 sedangkan kerja kapiler terendah dihasilkan oleh material karbon aktif bambu betung BCR 600.

Kata Kunci: Kerja Kapiler, Bambu Betung, Holding Time

Abstract

Evaporative cooling is a physical phenomenon where the evaporation of water from a wet media (*cooling pad*) into flowing air and contact between the two causes cooling of the media. One of the main components of a direct evaporative cooling system is the pad material. The pad material must have a high thermal conductivity or a large capillary force. The capillary force that acts on the material and is able to raise a certain amount of water mass to a certain height on the surface of the material will result in the capillary action of the material. The purpose of this study was to analyze the characteristics of the capillary action of the bamboo betung activated carbon-based pad material without holding time. In this study, several stages of testing were carried out, namely the bamboo drying process, carbonization and activation, and SEM testing. The material of bamboo betung will be carbonized with carbonization temperatures of 400°C, 500°C, 600°C, 700°C and 800°C, before finally being activated at an activation temperature of 600°C without holding time which aims to open the smaller bamboo pores. With the two thermal treatments mentioned above, it is hoped that the bamboo betung will increase its pore structure and porosity, so that it is able to produce high capillary action to lift more mass of water into the bamboo betung activated carbon material. Furthermore, the SEM (Scanning Electron Microscopy) test was carried out to obtain the characteristics of the pore structure of the sample. The results of this study indicate that the largest capillary action is produced by the active carbon material of Bamboo Betung BCR 400. Meanwhile, the lowest capillary action is produced by the activated carbon material of Bamboo Betung BCR 600.

Keywords: Capillary Work, Bamboo Betung, Holding Time

1. Pendahuluan

Seiring perkembangan jaman peralatan teknologi modern yang hadir saat ini sangat membantu kehidupan manusia, dan salah satunya adalah mesin pendingin. Di Indonesia yang beriklim tropis, hampir di setiap rumah dapat ditemui peralatan yang menggunakan sistem pendingin ini [1]. Hal ini menyebabkan peningkatan pemakaian sistem pendingin seperti *air conditioning* (AC). Peningkatan penggunaan sistem pendingin dapat meningkatkan pemakaian listrik yang semakin tinggi dan menyebabkan polusi yang tinggi karena sumber utama pembangkit listrik di Indonesia masih banyak menggunakan sumber daya alam yaitu batu bara yang

dapat merusak lingkungan sekitar karena pembakarannya. Maka dari itu kita memerlukan sistem pendinginan yang mampu mengurangi penggunaan listrik seperti *Evaporative Cooling*.

Salah satu komponen utama sistem *direct evaporative cooling* adalah material pad. Material pad atau material penukar panas dan massa yang baik dalam sistem pendingin *evaporative*, harus memiliki konduktivitas termal yang tinggi dan atau gaya kapiler (*capillary force*) yang besar. Selanjutnya menurut [2] ukuran pori, distribusi pori dan bentuk butir sangat berpengaruh terhadap *capillarity force*

suatu material. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa kerja kapiler juga akan dipengaruhi oleh ukuran pori material.

Pada penelitian sistem *direct evaporative cooling* (DEC), banyak digunakan material alam dan sintesis seperti serabut kelapa [3], *pumice stones, volcanic tuff, greenhouse shading [4] coir fibre, fine fabric dan coarse fabric, polyvinyl chloride* [5]. Namun demikian belum banyak dan atau mungkin belum ada penelitian yang menggunakan bambu betung sebagai material pad sistem DEC. Secara umum ketersediaan bambu betung (*Dendrocalamus Asper*) cukup berlimpah di daerah-daerah di Indonesia, demikian juga di Bali. Disamping itu diketahui pula bambu betung memiliki karakteristik fisik yang baik untuk material pad, dengan ketebalan dinding buluh bambu bisa mencapai 11-36 mm. Dinding buluh yang tebal ini, nantinya akan memungkinkan bambu betung memiliki kemampuan menampung air dalam jumlah yang cukup untuk proses evaporasi pada sistem DEC.

Berdasarkan pemaparan di atas, dapat dikatakan bahwa belum banyak penelitian yang mengkaji potensi bambu betung sebagai material pad sistem pendingin evaporative, khususnya *direct evaporative cooling*. Dengan demikian, penulis merasa terdorong untuk melakukan penelitian tentang penggunaan bambu betung sebagai material pad alternatif pada sistem *direct evaporative cooling*.

2. Dasar Teori

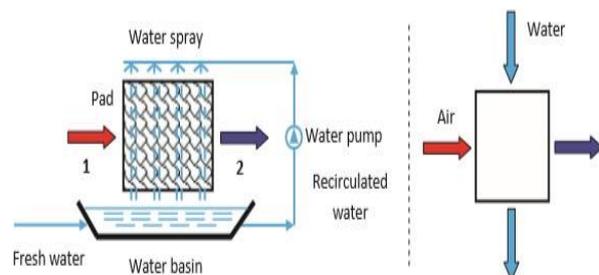
2.1. Sistem *Direct Evaporative Cooling*

Direct Evaporative Cooling merupakan suatu sistem pendinginan udara yang menggunakan prinsip *evaporative cooling*. Pendinginan *evaporative* ini secara teknik disebut dengan pendinginan adiabatik (berlangsung pada entalpi konstan) yang merupakan proses pengkondisian udara yang dilakukan dengan membiarkan kontak langsung antara udara dengan air sehingga terjadi proses evaporasi dimana terjadi perubahan panas sensibel udara yang didinginkan (udara luar) menjadi panas laten pada air di permukaan *cooling pad*. Perpindahan panas sensibel terjadi karena perbedaan suhu antara udara dan permukaan basah *cooling pad*, sedangkan panas laten terjadi dari perpindahan massa yang dihasilkan dari proses evaporasi pada permukaan basah *cooling pad*. Proses tersebut diatas akan menyebabkan turunnya temperatur bola kering udara luar, yang diikuti dengan peningkatan kandungan (konsentrasi) uap air pada udara luar, sehingga udara keluaran *cooling pad* menjadi lebih dingin dan lebih basah. Apabila selang waktu kontak air dan udara mencukupi, maka udara akan mencapai kondisi saturasi (jenuh), dimana tidak ada lagi massa uap air yang dapat diterima oleh udara. Kemampuan pendinginan sistem *direct evaporative cooling* ini dibatasi oleh temperatur bola basah udara luar,

dimana udara luar hanya mampu didinginkan hingga mendekati temperatur bola basahnya.

2.2. Prinsip Kerja Sistem *Direct Evaporative Cooling*

Secara umum skematik diagram prinsip kerja, proses kerja dan aliran fluida sistem *direct evaporative cooling* dapat dilihat masing-masing secara berurutan seperti pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Prinsip kerja dan aliran fluida DEC

Prinsip kerja dan aliran fluida sistem DEC seperti ditunjukkan oleh Gambar 1. Udara inlet mengalir masuk pada *cooling pad* (1) yang telah terbasahi oleh air pada temperatur yang sama dengan temperatur bola basah udara *supply*. Perpindahan panas terjadi antara udara inlet dengan air. Panas ditransfer oleh aliran udara inlet sebagai panas sensibel dan diserap oleh air sebagai panas laten. Dengan sejumlah panas laten yang diterima oleh air, maka sebagian air akan menguap dan menambah kandungan uap air udara. Temperatur udara outlet (2) mengalami penurunan sebagai akibat pemindahan panas sensibelnya ke air, akan tetapi entalpi udara outlet akan sama dengan entalpi udara inlet sebagai akibat panas laten dikembalikan lagi ke udara sebagai uap air (*moisture*).

2.3. Karakteristik Bahan *Direct Evaporative Cooling Pad*

Jenis material pad sistem *direct evaporative cooling* yang banyak digunakan saat ini diantaranya adalah sebagian besar dari bahan atau material alami seperti serabut kelapa, karung goni, spon, sumbu kompor, kain tirai, pipa keramik berpori, pipa tanah liat berpori, arang, batu apung dan masih banyak lagi. Jenis yang paling banyak digunakan bahan pad berbasis selulosa (*cellulose pad*) bergelombang. Material pad selulosa ini sudah termasuk material pad komersial dan memiliki kemampuan pendinginan yang tinggi, akan tetapi material pad selulosa harganya cukup mahal.

Material pad selulosa sangat kompak bentuknya, efisien, ringan dan bebas polusi. Banyak digunakan pada berbagai aplikasi termasuk untuk industri, sektor perumahan, peternakan babi, peternakan ayam, *green house*, dan gudang penyimpanan. Material pad berbasis selulosa ini memiliki sifat mampu bentuk yang baik, sehingga

mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhannya dan penempatannya misalnya sebagai sistem pendingin awal udara masuk ruang bakar turbin. Menurut [6], penggunaan pad selulosa yang bergelombang sebagai media pendingin akan meningkatkan efisiensi pendinginan dan *pressure drop* masing-masing sebesar 40% dan 50%. Semakin tebal material pad, akan menghasilkan efisiensi pendinginan dan *pressure drop* yang lebih tinggi.

2.4. Sifat - Sifat Udara Basah

2.4.1. Temperatur Bola Kering (*Dry Bulb Temperatur*) (*T_{dB}*)

Temperatur bola kering adalah temperatur udara yang ditunjukkan oleh termometer biasa. Informasi ini cukup sederhana, namun tidak mampu memberikan keterangan yang lengkap karena temperatur bola kering hanya menyatakan derajat kandungan panas sensibel dari suatu substansi, tidak memberi informasi tentang kandungan panas laten di dalam udara.

2.4.2. Temperatur Bola Basah (*Wet Bulb Temperatur*) (*T_{wB}*)

Temperatur bola basah adalah temperatur paling rendah yang mampu ditunjukkan oleh termometer yang 'bola'-nya dililit dengan kain atau sumbu basah ketika termometer diletakkan di tempat yang dilalui aliran udara. Panas laten penguapan ditentukan oleh temperatur bola basah, bukan temperatur bola kering, karena penguapan aktual terjadi pada pembacaan temperatur bola basah. Ketika udara yang tidak jenuh berhembus melalui termometer bola basah, air dari permukaan yang dibasahi akan menguap, dan panas laten yang diserap oleh proses penguapan air menyebabkan turunnya temperatur yang ditunjukkan oleh termometer. Pada kondisi kesetimbangan, temperatur yang ditunjukkan oleh termometer akan konstan. Temperatur inilah yang disebut dengan temperatur bola basah.

2.4.3. Kelembaban Spesifik (*Spesifik Humidity*) (*w*)

Kelembaban Spesifik (*w*) didefinisikan sebagai massa uap air tiap satuan massa udara kering dalam campuran tertentu pada temperatur bola kering (*T_{dB}*) tertentu serta menyatakan kandungan uap air sebenarnya dalam udara.

2.4.4. Kelembaban Relatif (*Relatife Humidity*) (*RH*)

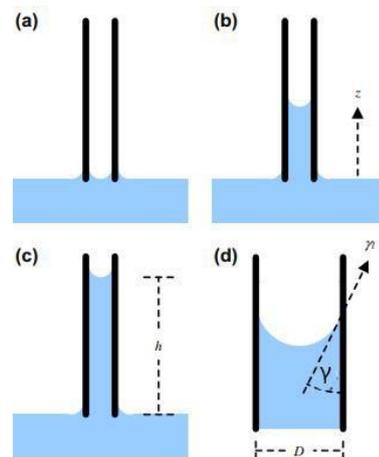
Kelembaban relatif merupakan ukuran derajat kejenuhan udara pada temperatur bola kering (*T_{dB}*) tertentu. Besaran ini menyatakan prosentase kejenuhan udara. $RH = 100\%$ berarti udara dalam keadaan jenuh dan $RH = 0\%$ berarti udara dalam keadaan kering sempurna. *RH* didefinisikan sebagai rasio antara tekanan parsial aktual uap air dengan

tekanan parsial saturasi uap air pada temperatur bola kering tertentu.

2.5. Kerja Kapiler Material Berpori

Menurut [7] kerja kapiler pori material adalah besarnya kerja yang dilakukan oleh tegangan permukaan pada material berpori untuk mengangkat sejumlah massa air ke dalam pori material (*capillary tube*). Kesetimbangan energi untuk *capillary rise* (kenaikan ketinggian permukaan fluida) terdiri dari 3 besaran energi yakni kerja yang dilakukan untuk mengangkat air dalam pori material (*w*), energi kinetik yang berhubungan dengan pengaruh viskositas dalam aliran fluida (*K*) dan energi potensial yang berhubungan dengan energi yang tersimpan dalam kolom fluida pada material berpori.

Besarnya kerja kapiler yang terjadi sangat tergantung pada kenaikan ketinggian permukaan fluida pada material berpori (*capillary height rise*). Gambar 2 menjelaskan mekanisme tercapainya ketinggian permukaan fluida dalam kesetimbangan gaya kapiler dan gaya berat air sebagai berikut: (a) permukaan pori material (*capillary tube*) menyentuh permukaan air, (b) gaya kapiler akan menyebabkan fluida terangkat ke atas hingga mencapai ketinggian *z* (c) bila telah terjadi kesetimbangan antara gaya kapiler (tekanan kapiler) dan gaya berat air (tekanan hidrostatik) maka akan tercapai ketinggian maksimal *h*, yang sifatnya tetap dan tidak akan meningkat lagi, (d) terbentuk permukaan akhir (meniskus) fluida pada pori material, dimana γ adalah besarnya sudut yang terbentuk antara permukaan meniscus fluida dengan dinding pori material, yang karena sangat kecil sekali maka dapat dianggap $\gamma = 0$.



Gambar 2 Mekanisme terjadinya *capillary rise*

3. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian dilakukan secara eksperimental dengan tujuan untuk menganalisa karakteristik kerja kapiler dari material karbon aktif bambu betung yang diaktivasi tanpa holding time.

3.1. Variabel Penelitian

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan ditentukan sebelum penelitian. Adapun variabel bebas pada penelitian ini, yaitu temperatur karbonisasi 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, dan 800 °C.

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian, yakni kerja kapiler.

Variabel kontrol adalah variabel yang sengaja dikendalikan atau dibuat konstan oleh peneliti dimana variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu temperatur aktivasi 600 °C.

3.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pisau, gergaji, timbangan, oven, reactor pyrolysis, stopwatch, nitrogen, SEM, image J. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Bambu Betung. Bambu betung yang akan digunakan sebagai material yang akan di uji dalam penelitian ini berasal dari Baturiti, Tabanan, Bali.

3.3. Prosedur Pengujian

Dalam penelitian ini akan dilakukan beberapa tahap pengujian yaitu proses pengeringan bambu, karbonisasi dan aktivasi, pengujian SEM. dimana masing-masing tahap tersebut diatas memiliki prosedur pengujian tersendiri.

3.3.1. Prosedur Pengeringan Bambu Betung (Moisture)

Proses *moisture* adalah proses yang dilakukan untuk menghilangkan kadar air yang ada dalam bambu betung, proses *moisture* pada bambu betung meliputi pemotongan bambu betung menjadi ukuran- ukuran tertentu lalu dikeringkan dibawah paparan sinar matahari selama 10 hari dan dipotong-potong dengan ukuran P x L x T: 2.5 cm x 1.7 cm x 3.1 cm. Selanjutnya dikeringkan kembali pada dapur listrik pada suhu 105 °C selama 6 jam.

3.3.2. Pengujian Karbonisasi dan Aktivasi Material Bambu Betung

- a. Persiapan peralatan ukur dan reaktor pemanasan untuk proses karbonisasi, aktivasi karbonisasi awal bambu betung.
- b. Proses karbonisasi 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, dan 800 °C :
 - 1) sampel uji pertama dimasukkan ke dalam reaktor karbonisasi untuk proses karbonisasi 400 °C
 - 2) reaktor karbonisasi dialiri nitrogen untuk mendapatkan kondisi bebas oksigen (inert atmosfer), kemudian temperatur reaktor karbonisasi ditingkatkan dengan laju pemanasan 8.5 °C /min dan diatur hingga mencapai 400 °C
 - 3) kemudian sampel didinginkan dalam furnace selama 12 jam dan akan dihasilkan

sampel arang bambu betung dengan kode sampel CR 400 yang artinya hasil karbonisasi bambu betung dengan temperatur 400 °C

- c. Proses karbonisasi selanjutnya dilakukan dengan pengulangan langkah 2a –2c dengan proses karbonisasi 500 °C, 600 °C, 700 °C, 800 °C dan akan dihasilkan sampel material karbon bambubetung CR 500 – CR 800
- d. Proses aktivasi karbon awal 600 °C
 - 1) sampel dipanaskan terlebih dahulu dalam dapur listrik pada 40 °C, kemudian dimasukkan ke dalam reaktor pemanasan untuk dilakukan proses aktivasi karbon awal 600 °C
 - 2) udara dikeluarkan dari ruang pemanasan dengan menggunakan pompa vakum
 - 3) N₂ dialirkan ke dalam ruang pemanasan dengan laju aliran 50 mL/menit
 - 4) temperatur ruang pemanasan ditingkatkan hingga mencapai 600 °C dengan laju 8,5 °C/menit dari temperatur ruang

Pada sampel material karbon masing-masing CR 400, 500, 600, 700 dan 800 akan menjadi material karbon aktif bambu betung, dengan kode masing-masing BCR 400 – BCR 800. Sampel BCR 400 artinya material bambu yang telah dikarbonisasi pada temperatur 400 °C akan diaktivasi pada temperatur 600 °C tanpa holding time Untuk setiap akhir pengujian, reaktor pemanasan didinginkan dengan aliran nitrogen 10 ml/menit hingga mencapai temperatur ruang, kemudian material uji dikeluarkan dari reaktor pemanasan.

3.3.3. Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) dimaksudkan untuk mendapatkan karakteristik struktur pori sampel BCR 400, BCR 500, BCR 600, BCR 700 dan BCR 800 yang meliputi ukuran pori, distribusi pori dan porositas sampel. Pengujian struktur pori material bambu betung dilakukan setelah pengujian aktivasi, yang dilakukan di laboratorium metalurgy Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.

4. Hasil dan Pembahasan

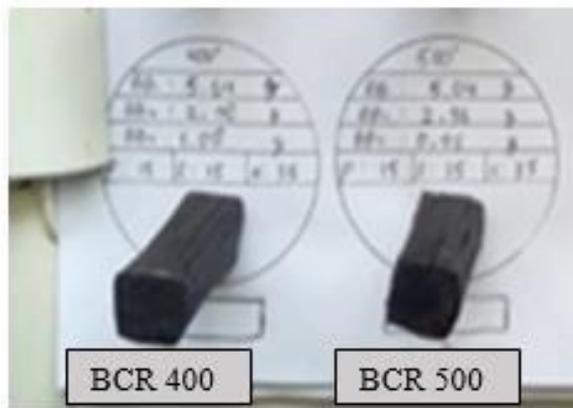
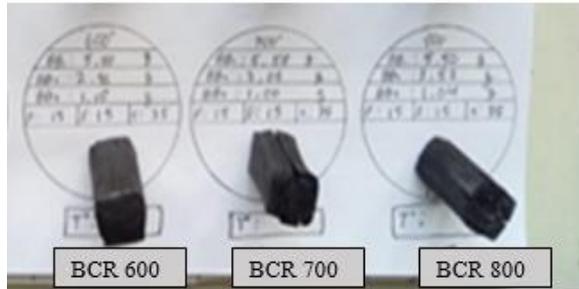
4.1. Data

4.1.1. Hasil Proses Karbonisasi dan Aktivasi Karbon

Pembuatan spesimen uji dalam penelitian ini meliputi proses karbonisasi dan aktivasi karbon. Proses karbonisasi dilakukan dengan variasi temperatur karbonisasi 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C dan 800 °C. Proses karbonisasi dimaksudkan untuk membuka pori awal material dan meninggalkan

masih banyak pori yang belum terakses oleh panas. Selanjutnya material karbon bambu betung (betung bamboo charcoal) yang dihasilkan akan dilakukan proses aktivasi pada temperatur aktivasi 600°C. Proses aktivasi akan menghasilkan lebih banyak pori kecil yang baru, yang semula belum terakses panas pada proses karbonisasi.

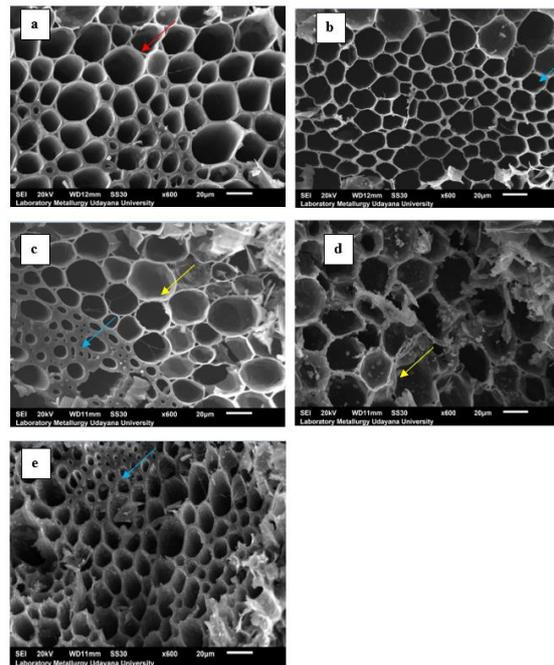
Adapun spesimen uji yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat dilihat seperti pada Gambar 3 dibawah



Gambar 3. Material karbon aktif bambu betung

4.1.2. Struktur dan Ukuran Pori

Pengujian SEM pada penelitian ini menghasilkan struktur dan ukuran pori material karbon aktif bambu betung, dengan menggunakan aplikasi image-J. Ukuran pori sangat menentukan karakteristik kapilaritas material, karena akan mempengaruhi besarnya porositas, permeabilitas, daya kapiler dan tentunya juga kerja kapiler. Struktur pori material karbon aktif bambu betung bersifat heterogen, dimana strukturnya terdiri dari berbagai ukuran pori makro pori (ukuran pori > 50 nanometer). Material bambu betung, akibat proses karbonisasi berubah dari material yang cukup tinggi kerapatan massanya menjadi material berstruktur pori karbon, yang memiliki tingkat porositas yang lebih tinggi dari material awalnya. Adapun struktur pori material karbon aktif bambu betung dengan pembesaran 300X dapat dilihat seperti pada Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Struktur pori material karbon aktif bambu betung (a) BCR 400 (b) BCR 500 (c) BCR 600 (d) BCR 700 (e) BCR 800

Selanjutnya gambar struktur pori hasil pengujian SEM akan dianalisa menggunakan aplikasi image-J untuk mendapatkan ukuran pori material karbon aktif bambu betung. Dari aplikasi image-J akan didapat data jumlah pori dan ukuran porinya, dimana masing-masing material uji karbon aktif bambu betung akan memiliki jumlah dan ukuran pori yang berbeda-beda. Ukuran pori material didapat dengan merata-ratakan jumlah total ukuran pori dengan jumlah porinya. Dengan demikian didapat ukuran pori (jari-jari pori) material uji karbon aktif bambu betung seperti tampak pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran Pori Material Karbon Aktif Bambu

No	Material	Σ Jari-Jari Pori (μm)	Σ Pori	Jari-Jari Pori (μm)
1	BCR 400	351.01	116	3.03
2	BCR 500	451.57	143	3.16
3	BCR 600	309.74	120	2.58
4	BCR 700	235.69	81	2.91
5	BCR 800	339.99	175	1.91

4.2. Menghitung Data Hasil Penelitian

4.2.1. Ketinggian Kenaikan Fluida

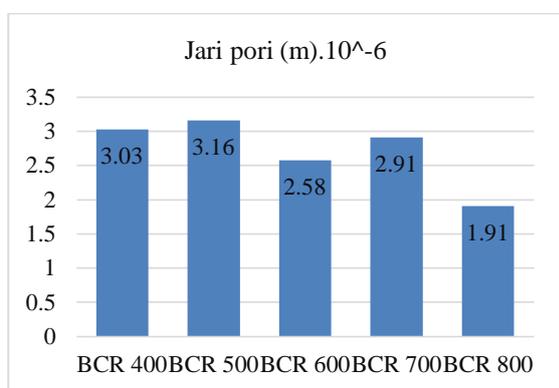
Ketinggian kenaikan fluida (capillary rise) merupakan ketinggian permukaan fluida yang dapat dicapai oleh material akibat gaya kapiler yang dimilikinya. Dengan mengetahui besarnya capillary rise dan gaya kapiler material, maka dapat ditentukan besarnya kerja kapiler material karbon aktif bambu betung BCR 400. Setelah itu akan di lanjutkan

perhitungan BCR 500 – BCR 800 untuk menentukan besarnya kerja kapiler dan di dapatkan hasil seperti dapat dilihat pada Tabel 2.

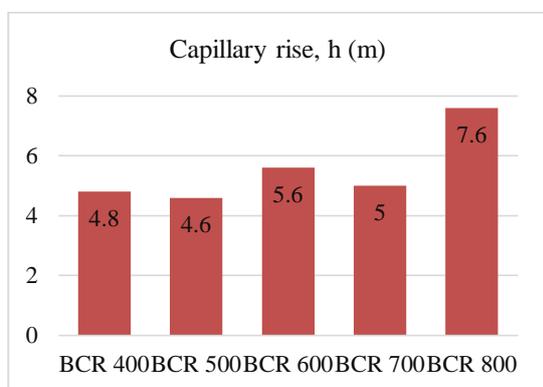
Tabel 2. Kerja Kapiler Material Karbon Aktif Bambu Betung

No	Material	Jari-Jari pori(m). 10^{-6}	Capillary rise (m)	Gaya kapiler (N. 10^{-6})	Kerja kapiler (N.m. 10^{-6})
1	BCR 400	3.03	4.8	1.40	6.72
2	BCR 500	3.16	4.6	1.44	6.62
3	BCR 600	2.58	5.6	1.18	6.61
4	BCR 700	2.91	5.0	1.33	6.65
5	BCR 800	1.91	7.6	0.87	6.63

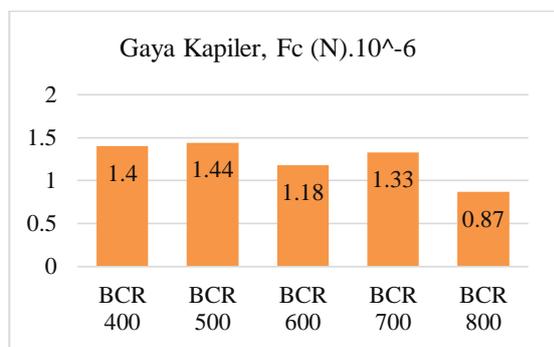
4.3. Analisa



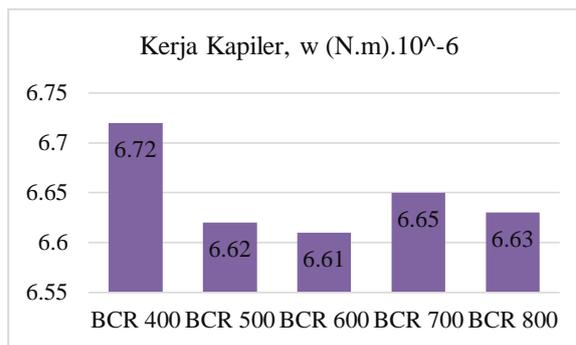
Gambar 5 Grafik Jari-Jari Pori



Gambar 6 Grafik Capillary Rise



Gambar 7 Grafik Gaya Kapiler



Gambar 8 Grafik Kerja Kapiler

Tabel 2 menunjukkan bahwa material bambu betung yang dikarbonisasi pada temperatur 400°C dan diaktivasi pada temperatur aktivasi 600°C tanpa holding time (BCR 400) menghasilkan kerja kapiler terbesar yakni 6.72×10^{-6} N.m. Sedangkan material karbon aktif bambu betung BCR 600 memiliki kerja kapiler terendah yakni sebesar 6.61×10^{-6} N.m. Pada Tabel 2 dapat juga dilihat bahwa semakin kecil ukuran pori, maka capillary rise nya akan semakin tinggi, demikian pula sebaliknya. Hal tersebut diakibatkan karena dengan semakin kecilnya ukuran pori maka gaya adhesi (gaya tarik menarik antara molekul cairan dengan molekul padat dinding pori) akan semakin besar, sehingga ketinggian permukaan yang dicapai juga semakin tinggi. Sedangkan disisi lain, semakin besar ukuran pori maka gaya kapiler yang dihasilkan akan semakin besar dan sebaliknya. Perlu dijelaskan disini perbedaan antara gaya kapiler dan tekanan kapiler. Menurut Extrand and Moon (2013), Gaya kapiler (capillary force) adalah gaya yang bekerja pada fluida sepanjang lintasan kontak antara fluida dan dinding pori dan mampu mengangkat fluida hingga mencapai ketinggian tertentu dalam pori material.

Tekanan kapiler (*capillary pressure*) menjabarkan persamaan Young-Laplace menyatakan bahwa tekanan kapiler adalah perbedaan tekanan yang diakibatkan oleh bentuk meniscus fluida, yakni perbedaan tekanan antara tekanan bagian yang tidak (belum) terbasahi fluida dengan tekanan bagian yang telah terbasahi fluida. Secara sederhananya dapat dijelaskan bahwa tekanan kapiler adalah perbedaan tekanan antara bagian atas meniscus fluida yang kontak dengan udara dengan tekanan bagian bawah fluida yang kontak dengan dinding pori. Bila tekanan bawah meniscus fluida lebih besar dari tekanan bagian atas meniscus, maka meniscus fluida akan berbentuk cekung dan fluida akan naik keatas secara kapiler dalam pori. Tekanan bagian bawah meniscus akan meningkat seiring berkurangnya ukuran pori dimana terjadi gaya tarik menarik antara molekul air dan molekul padat dinding pori (gaya adhesi) yang lebih besar. Dapat disimpulkan bahwa semakin kecil ukuran pori, maka semakin besar perbedaan tekanan antara bagian atas dan bawah meniscus atau semakin besar tekanan kapilernya.

Dengan demikian terdapat perbedaan yang jelas antara gaya kapiler dengan tekanan kapiler, dimana semakin kecil ukuran pori maka gaya kapilernya semakin kecil, sedangkan tekanan kapilernya makin besar dan dengan tekanan kapiler yang semakin besar maka ketinggian permukaan fluida (*capillary rise*) yang dapat dicapai akan semakin tinggi. Di sisi lain, dengan ukuran pori yang semakin besar, walaupun *capillary rise* yang dicapai semakin kecil, tetapi gaya kapiler yang bekerja pada fluida semakin besar seperti tampak pada Gambar 5 sampai Gambar 8.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ditemukan bahwa kerja kapiler terbesar dihasilkan oleh material karbon aktif bambu betung BCR 400 yaitu 6.72×10^{-6} N.m. Sedangkan kerja kapiler terendah dihasilkan oleh material karbon aktif bambu betung BCR 600 yaitu 6.61×10^{-6} N.m. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa besarnya kerja kapiler (w) sangat tergantung pada tinggi *capillary rise* dan gaya kapiler yang dihasilkan, dimana ukuran pori memiliki pengaruh yang berbeda untuk tinggi *capillary rise* dan gaya kapiler tersebut. Semakin kecil ukuran pori, maka *capillary rise* nya akan semakin tinggi, demikian pula sebaliknya. Sedangkan disisi lain, semakin besar ukuran pori maka gaya kapiler yang dihasilkan akan semakin besar dan sebaliknya.

Studi Eksperimental Karakteristik Kerja Kapiler Material Karbon Aktif Bambu Betung Tanpa *Holding Time*

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Purwiyanti, S., Setyawan, F. X., Selviana, W., & Purnamasari, D., 2017, *Aplikasi Efek Pekier Sebagai Kotak Pemanas dan Pendingin Berbasis Mikroprosesor Arduino Uno*, ELECTRICIAN–Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, Vol. 11, No.3, pp. 99-104.
- [2] Midiani, L. P. I., Septiadi, W. N., Winaya, I. N. S., Sucipta, M., & Putra, N., 2019, *Desain dan Fabrikasi Zeolit dan Hybrid Zeolit-Tembaga Untuk Wick Heat Pipe*, Prosiding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan X, pp. 348-352.
- [3] Rawangkul, R., Khedari, J., Hirunlabh, J., & Zeghmata, B., 2008, *Performance Analysis of A New Sustainable Evaporative Cooling Pad Made From Coconut Coir*, International Journal of Sustainable Engineering, Vol. 1, No. 2, pp. 117-131.
- [4] Gunhan, T. U. N. C. A. Y., Demir, V. E. D. A. T., & Yagcioglu, A. K., 2007, *Evaluation of The Sustainability of Some local Materials*

as Cooling Pads, Biosystems Engineering, Vol. 96, No. 3, pp. 369-377.

- [5] Liao, C. M., & Chiu, K. H., 2002, *Wind Tunnel Modeling The System Performance of Alternative Evaporative Cooling Pads in Taiwan Region*, Building and Environment, Vol. 37, No. 2, pp. 177-187.
- [6] Hosseini, R., Beshkani, A., & Soltani, M., 2007, *Performance Improvement of Gas Turbines of Fars (Iran) Combined Cycle Power Plant by Intake Air Cooling Using A Media Evaporative Cooler*. Energy Conversion and Management, Vol. 48, No. 4, pp. 1055-1064.
- [7] Extrand, C. W., & Moon, S. I., 2009, *Using The Flotation of A Single Sphere to Measure And Model Capillary Forces*. Langmuir, Vol. 25, No. 11, pp. 6239-6244.

