

p-ISSN : 2722-0184

e-ISSN : 2722-0192

JTII

JURNAL TEKNOLOGI DAN INOVASI INDUSTRI





DEWAN REDAKSI

Ketua Penyunting (Editor in Chief)

Dr. Ir. Lilis Hermida, ST, MSc.

Managing Editor

Yuli Darni, ST., M.T.

Dewan Penyunting

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., Universitas Lampung, Lampung, Indonesia

Dr.Eng. Suryadiwansa Harun, S.T.,M.T., Universitas Lampung, Lampung, Indonesia

Ir. Arinal Hamni, M.T., Universitas Lampung, Lampung, Indonesia

Simparkin Ginting, S.T., M.T., Universitas Lampung, Lampung, Indonesia

MM Hizbullah Sesunan, S.T, M.T., Universitas Lampung, Lampung, Indonesia

Muhammad Haviz, S.T, M.T., Universitas Lampung, Lampung, Indonesia

Dona Jhonnata, S.T., M.T. Universitas Lampung, Lampung, Indonesia

M. Ridho Ulya, S.T., M.Eng., Universitas Lampung, Lampung, Indonesia

Reviewer

Ir. Irza Sukmana, S.T.,M.T., PhD., Universitas Lampung, Lampung, Indonesia

Prof. Dr. Joni Agustian, S.T., MSc., Universitas Lampung, Lampung, Indonesia

Prof. Dr. Nasrul Arahman, S.T.,MT., Universitas Syah kuala, Banda Aceh, Indonesia

Nazarudin, S.Si., M.Si., Ph.D., Universitas Jambi, Jambi, Indonesia

Layout

Rosalia Dwi Werena, S.ST, M.Eng.

Hasrul Anwar, S.Pd .,M.T.

IT and Administration office

Afri Yudamson, S.T., M.Eng

Miftahul Djana, S.T.,M.T.



DAFTAR ISI

Halaman Sampul		i
Dewan Redaksi		ii
Daftar Isi		iii
Kata Sambutan		iv
 Stabilisasi Tanah Gambut Dengan Penambahan POFA (Palm Oil Fuel Ash) Dan Semen Terhadap Indeks Properti Tanah		 1
 Perancangan Generator HHO Untuk Mengubah Air Menjadi Bahan Bakar Menggunakan Elektroda Grafit dan Katalis NaOH dengan Metode Elektrolisis		 9
 Pengaruh Waktu Blooming Dan Massa Air Terhadap pH, TDS, Dan EC Pada Kopi Robusta Liwa Lampung dengan Metode Aeropress		 16
 Karakterisasi Edible Film Dari Pati Jagung Dengan Plastisizer Gliserol Dan Filler CMC Sebagai Bahan Pengemas Makanan		 23
 Rancang Bangun Prototipe Turbin Archimedes Untuk Tangki Air Perumahan Dengan Formulasi Chris Rorres		 32



KATA SAMBUTAN

Ungkapan segenap puji dan syukur kami haturkan kepada Allah SWT atas terbitnya Jurnal Teknologi dan Inovasi Industri Vol. 3, No.1, April 2022. Jurnal ini merupakan salah satu media publikasi artikel-artikel ilmiah dari para peneliti, perekayasa dan akademisi yang diterbitkan per enam bulan. Redaksi sangat mengapresiasi kepada berbagai pihak yang telah membantu dan memberikan sumbangan pemikiran atas penerbitan edisi pertama jurnal ini. Semoga artikel-artikel ilmiah dalam jurnal ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Salam

Redaktur Jurnal JTII

Stabilisasi Tanah Gambut Dengan Penambahan POFA (Palm Oil Fuel Ash) Dan Semen Terhadap Indeks Properti Tanah

Niken Tasya Clara Putri¹, Dila Oktarise Dwina^{1*}, Nazarudin², Dyah Kumalasari¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Jambi, Jalan Tribrata KM 11 Pondok Meja, Mestong, Jambi 36364

²Program Studi Teknik Kimia, Universitas Jambi, Jalan Tribrata KM 11 Pondok Meja, Mestong, Jambi 36364

*E-mail: diladwina@unja.ac.id

Abstrak

Provinsi Jambi termasuk salah satu provinsi pemroduksi sawit terbesar, oleh karena itu dibutuhkan pemanfaatan atau pengelolaan limbah abu sawit agar tidak menumpuk dan memperkecil timbulnya masalah terhadap lingkungan. Salah satunya adalah pemanfaatan POFA (Palm Oil Fuel Ash) sebagai material stabilisasi tanah. Material yang dapat di jadikan alternatif sebagai bahan tambahan stabilisasi tanah pada campuran POFA ini adalah semen dimana material tambahan semen dimana bila ditambahkan air akan terjadi reaksi hidrasi sehingga dapat mengeras dan dapat mempengaruhi nilai fisik dan mekanis tanah. Dalam penelitian ini digunakan variasi campuran yang digunakan untuk tanah gambut yaitu 20% POFA + 9% semen, 25% POFA + 9%semen, 30% POFA + 9% semen, dan 35% POFA + 9% semen terhadap berat kering tanah gambut dengan pemeraman 0,7,14, 28 hari untuk indeks properti. Pada pengujian indeks properti terdapat uji kadar air, berat jenis, batas-batas atterberg. Pada pengujian kadar air variasi 100% tanah hingga variasi 65% tanah, kadar air pada 0 hari hingga 28 hari mengalami pengurangan terus menerus. Begitu juga pada atterberg, pada variasi 100% tanah hingga variasi 65% tanah, pada uji 0 hari hingga 28 hari juga mengalami pengurangan nilai indeks plastisitasnya. Berbeda dengan kadar air dan atterberg, nilai pengujian berat jenis dari tanah asli meningkat setelah penambahan variasi namun pemeraman tidak mempengaruhi nilai dari berat jenis tersebut.

Kata kunci: Stabilisasi tanah, POFA, Semen, Indeks tanah

1. Pendahuluan

Transportasi Provinsi Jambi menjadi salah satu daerah dengan lahan gambut terluas di Indonesia dimana menurut Balai Pengkajian Teknologi Pertanian kota Jambi (2018), Provinsi Jambi memiliki luas lahan gambut sebesar 716.839 hektar dan merupakan penyebaran lahan gambut ketiga terluas di Pulau Sumatera setelah Sumatra Selatan dan Riau. Penerapan penggunaan lahan tanah gambut untuk penunjang infrastruktur atau sarana transportasi sedikit memiliki kendala dimana tanah gambut sendiri memiliki kekurangan terhadap sifat fisik dan mekanis tanah yang mengakibatkan daya dukung tanah gambut sendiri relatif rendah dalam menahan beban di atasnya (Nugroho, 2008). Jika suatu tanah di lapangan mempunyai nilai indeks properti tanah yang tidak baik serta nilai CBR tidak terpenuhi maka akan mempengaruhi sifat fisik dan mekanis dari tanah itu sendiri, untuk itu dibutuhkan usaha dalam perbaikan tanah gambut

ini agar dapat menahan beban di atasnya dengan baik serta mempermudah akses transportasi.

Beberapa usaha perbaikan tanah gambut yang sering dilakukan yaitu salah satunya stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah merupakan usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu. Umumnya metode yang sering digunakan untuk stabilitas tanah gambut adalah stabilisasi kimiawi. Stabilisasi kimiawi adalah usaha memperbaiki sifat tanah dengan mencampurkan tanah asli menggunakan bahan-bahan yang bereaksi dengan mineral tanah seperti semen, kapur, aspal, abu terbang, abu dasar, dan abu sekam padi, sehingga memungkinkan adanya reaksi kimia serta menghasilkan senyawa baru yang lebih stabil dibandingkan senyawa asal tanah (Charlie, 2018).

Salah satu material yang dapat dicampur dengan tanah gambut untuk distabilitas adalah abu bahan bakar kelapa sawit (palm oil fuel ash) atau

disebut dengan POFA. POFA merupakan salah satu residu yang dihasilkan dalam proses pembakaran kelapa sawit dimana abu yang dihasilkan ada 2 jenis abu, yaitu abu terbang (fly ash) dan abu dasar (bottom ash). Fly ash adalah padatan sisa pembakaran yang terbawa bersama gas buang dan ditangkap oleh alat pengendali udara sebelum dibuang ke udara melalui cerobong. Sedangkan bottom ash merupakan padatan dari sisa pembakaran biomassa yang keluar dari tungku dasar boiler (Endriyani, 2012). Limbah POFA cukup besar terproduksi tiap tahunnya di Provinsi Jambi. Berdasarkan data Kementerian Pertanian tahun 2017, luas area perkebunan kelapa sawit di Provinsi Jambi mencapai 1,8 juta hektar dengan areal yang ditanami sawit 791.025 hektar, dimana dari luasan 791.025 hektar tanaman kelapa sawit yang produktif baru mencapai 570.424 hektar. Dengan lahan sebesar 570.424 hektar dapat memproduksi kelapa sawit serta limbah abu pembakaran kelapa sawit dengan jumlah yang cukup besar. Pembakaran kelapa sawit ini berlangsung terus menerus maka pemroduksian abu dari pembakaran tersebut akan terus bertambah pula, oleh karena itu dibutuhkan pemanfaatan atau pengelolaan limbah abu tersebut agar tidak menumpuk dan memperkecil timbulnya masalah terhadap lingkungan.

Material yang dapat di jadikan alternatif sebagai bahan tambahan stabilisasi tanah pada campuran POFA ini adalah semen. Semen dapat didefinisikan sebagai suatu bahan perekat yang berbentuk serbuk halus, bila ditambahkan air akan terjadi reaksi hidrasi sehingga dapat mengeras dan digunakan sebagai pengikat (Novita, 2018). Material tambahan semen ini diharapkan selain dapat mempengaruhi nilai fisik dan mekanis tanah, juga dapat mempermudah penerapannya di lapangan pada proses pencampuran.

Berdasarkan rumusan masalah dapat ditarik tujuan dari penulisan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik sifat fisik tanah gambut pada Provinsi Jambi khususnya di daerah Kumpe Ulu, Muaro Jambi dan mengetahui pengaruh

penambahan POFA dan semen dengan variasi yang berbeda-beda pada tanah gambut terhadap indeks properti tanah.

2. Landasan Teori

2.1. Tanah Gambut

Tanah menurut Sarief (1986) adalah benda alami yang terdapat di permukaan bumi yang tersusun dari bahan-bahan mineral sebagai hasil pelapukan batuan dan bahan organik pelapukan sisa tumbuhan dan hewan yang merupakan medium pertumbuhan tanaman dengan sifat-sifat tertentu yang terjadi akibat gabungan dari faktor-faktor alami, iklim, bahan induk, jasad hidup, bentuk wilayah dan lamanya waktu pembentukan. Tanah gambut merupakan tanah yang terbentuk dari penumpukan sisa dari tumbuhan yang setengah membusuk atau mengalami dekomposisi yang tidak sempurna (Fatma, 2015). Tanah gambut terkandung bahan organik yang cukup tinggi karena bahan bakunya merupakan sisa dari tumbuhan, seperti lumut dan pepohonan serta sisa dari binatang yang telah mati.

2.2. POFA (Palm Oil Fuel Ash)

Abu sawit yang disebut juga dengan Palm Oil Fuel Ash (POFA) adalah material yang dihasilkan dari pembakaran limbah padat kelapa sawit dengan suhu sekitar 800 - 1.000°C pada pembangkit listrik tenaga uap di pabrik kelapa sawit (Tangchirapat, 2009). Pembakaran ini menghasilkan 2 jenis abu yaitu bottom ash (abu dasar) dan fly ash (abu terbang). Fly ash merupakan padatan dari sisa pembakaran yang terbawa bersama gas buang dan ditangkap oleh alat pengendali udara sebelum dibuang ke udara melalui cerobong. Sedangkan bottom ash merupakan padatan dari sisa pembakaran biomassa yang keluar dari tungku dasar boiler (Endriyani, 2012).

Kandungan terbesar yang ada pada POFA adalah SiO₂ (silika) dimana kandungan ini dapat difungsikan sebagai pengikat. Dalam bidang teknik sipil seperti dalam mendesain beton mutu tinggi, POFA dimanfaatkan sebagai tambahan bahan pengeras, oleh karna itu beberapa ahli sipil

meneliti POFA sebagai bahan pengisi dalam lapisan perkerasan, bahan stabilitas campuran pada tanah, dan lainnya (Sulistianingsih, 2018). POFA merupakan hasil pembakaran dari bahan organik berupa sawit yang membuat limbah dari pembakaran sawit itu sendiri bisa dikatakan tidak terlalu berbahaya tetapi masih bisa memunculkan masalah pada lingkungan jika limbah menumpuk berlebihan, maka dari itu dibutuhkan pengolahan limbah POFA ini agar tidak menumpuk berlebihan.

2.3. Semen

Menurut Novita (2018), Semen dapat diartikan suatu bahan perekat yang berbentuk serbuk halus, bila ditambahkan air akan terjadi reaksi hidrasi sehingga dapat mengeras dan digunakan sebagai pengikat dan mempercepat proses penyatuannya. Bahan mentah yang digunakan dalam pembuatan semen adalah batu kapur yang mempunyai rumus CaCO_3 (Calcium Carbonat), pasir silica yang memiliki rumus SiO_2 (Silicon Dioksida), tanah liat yang digunakan pada produksi semen adalah $\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, dan pasir besi yang memiliki rumus kimia Fe_2O_3 (Ferri Oksida). PCC (Portland Composite Cement) adalah semen dari hasil penggilingan terak semen portland, gipsum, dan satu atau lebih bahan anorganik, untuk konstruksi beton umum, pasangan batu bata, plesteran, selokan, pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, dan paving block. Tipe semen ini merupakan tipe yang tersedia di pasaran paling banyaknya.

2.4. Pengujian Laboratorium

2.4.1. Pengujian kadar air

Menurut SNI 1965-2008, penentuan kadar air untuk tanah dan batuan dilakukan di laboratorium terhadap contoh tanah atau batuan yang diambil dari lapangan. Perhitungan kadar air pun menurut SNI 1965-2008 adalah :

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_3 - W_4} \times 100 \% \quad (1)$$

Dengan :

W = kadar air, (%)

W_1 = berat cawan dan tanah basah (gram)

W_2 = berat cawan dan tanah kering (gram)

W_3 = berat cawan (gram)

$(W_1 - W_2)$ = berat air (gram)

$(W_2 - W_3)$ = berat tanah kering (gram)

2.4.2 Pengujian berat jenis

Menurut SNI 1964-2008, berat jenis adalah angka perbandingan antara berat isi butir tanah dan berat isi air suling pada temperatur dan volume yang sama. Persamaan yang dipakai untuk menghitung berat jenis pada suatu contoh tanah adalah :

$$\text{Berat jenis (Gs)} = \frac{W_t}{W_5 - W_3} \quad (2)$$

Dimana :

W_2 = Berat piknometer + contoh (gram)

W_1 = Berat piknometer (gram)

W_t = Berat tanah ($W_2 - W_1$) (gram)

W_3 = Berat piknometer + air + tanah pada temperatur 20°C (gram)

W_4 = Berat piknometer + air pada 20°C (gram)

W_5 = $W_t + W_4$ (gram)

2.4.3 Pengujian batas atterberg

Pengujian pada batas atterberg ini terdapat dua pengujian yaitu batas cair dan batas plastis. Batas cair didefinisikan sebagai kadar air yang paling rendah dimana tanah berada dalam keadaan cair atau suatu keadaan dimana tanah berubah dari keadaan cair menjadi plastis dan penentuan batas cair tanah di lakukan di laboratorium terhadap contoh tanah yang diambil dari lapangan. Nilai batas cair bisa didapat dari grafik hubungan antara kadar air dan jumlah pukulan, atau bisa dengan rumus berikut :

$$\text{Persentase kadar air} = \frac{\text{berat air}}{\text{berat tanah kering oven}} \times 100\%$$

$$\text{LL} = W_n (N/25)^{0,121} \quad (3)$$

Uji penentuan batas plastis dan indeks plastisitas tanah bertujuan untuk menentukan batas terendah kadar air ketika tanah dalam keadaan

plastis, dan angka indeks plastisitas suatu tanah (SNI 1966-2008). Batas plastisitas merupakan batas antara keadaan plastis dengan semi solid dari tanah. Nilai dari batas plastis dihitung berdasarkan persentasi berat air terhadap berat tanah kering pada benda uji. Angka indeks plastisitas tanah merupakan selisih angka batas cair (liquid limit, LL) dengan batas plastis (plastic limit, PL), dimana rumusnya adalah sebagai berikut :

$$\text{Indeks plastisitas (PI)} = \text{batas cair (LL)} - \text{batas plastis (PL)} \quad (4)$$

2.4.4 Pengujian analisa saringan

Menurut SNI 3423-2008, uji analisa saringan ini dilakukan untuk mendapatkan gradasi tanah pada klasifikasi tanah bagi perencanaan maupun pengawas lapangan. Cara uji analisis saringan dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. Analisa saringan fraksi yang tertahan saringan No. 10 (2,00 mm). Sejumlah contoh tanah 500 g yang tertahan saringan No.10 (2,00 mm) akan ditentukan jumlah dan distribusi butirnya, dipisahkan dalam rangkaian susunan saringan 75, 50, 25, 9,5 dan 4,75 (3 in, 2 in, 1 in, 3/8 in dan No.4). Saringan dengan ukuran lubang besar diletakkan di atas saringan yang mempunyai ukuran lubang lebih kecil. Penggunaan saringan lainnya mungkin saja diperlukan, tergantung contoh dan spesifikasi bahan yang di uji.
2. Analisis Saringan fraksi yang lolos saringan No. 10 (2,00 mm). Contoh tanah yang lolos saringan 2,00 mm sebanyak 100-50 g dilakukan analisa hidrometer terlebih dahulu.

3. Metode penelitian

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian pada proposal ini merupakan metode penelitian eksperimen, dimana metode penelitian eksperimen merupakan suatu penelitian ilmiah dimana peneliti memanipulasi dan mengontrol satu atau lebih variabel bebas dan melakukan pengamatan terhadap variabel-variabel terikat untuk menemukan variasi yang muncul bersamaan dengan manipulasi terhadap

variabel bebas tersebut (Kerlinger, 2006). Menurut Isaac dan Michael (1977), tujuan penelitian eksperimen adalah untuk meneliti kemungkinan sebab akibat dengan mengenakan satu atau lebih kondisi perlakuan pada satu atau lebih kelompok eksperimen dan membandingkan hasilnya dengan satu atau lebih kelompok kontrol yang tidak diberi perlakuan. Pada penelitian ini melakukan eksperimen untuk melihat apakah ada pengaruh dari tanah gambut apabila di stabilisasikan dengan penambahan bahan campuran berupa POFA dan semen terhadap indeks properti tanah dan CBR.

3.2 Variable Penelitian

Variabel penelitian merupakan segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh seorang peneliti dengan tujuan untuk dipelajari sehingga didapatkan informasi mengenai hal tersebut dan ditariklah sebuah kesimpulan (Alihamdan, 2018), jadi pada umumnya variabel penelitian ini merupakan inti sebab yang menjadi objek penelitian. dimana variabel pada penelitian ini :

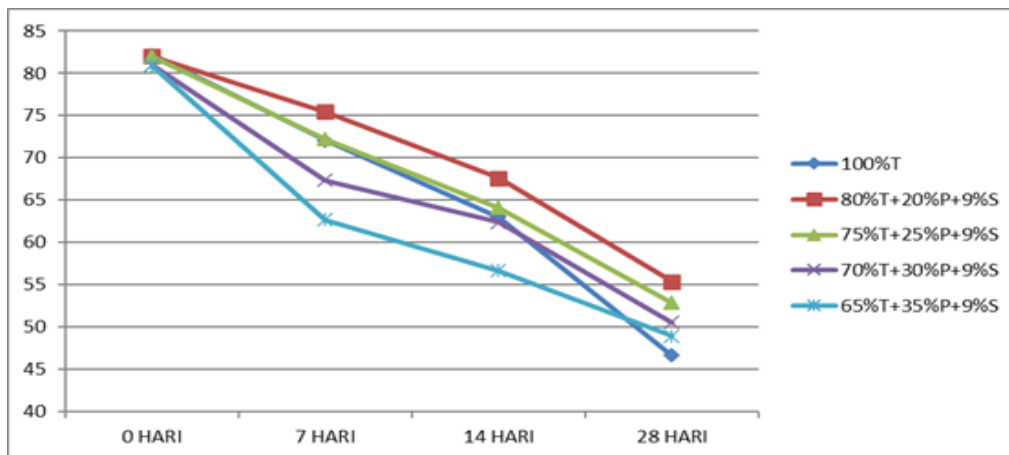
- a. Variabel bebas : persentase penambahan campuran POFA + semen, waktu pemeraman selama 0 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari untuk indeks properti tanah, dan waktu perendaman selama 4 hari untuk CBR.
- b. Variabel terikat : pengujian laboratorium berupa uji indeks properti tanah (kadar air, berat spesifik, batas cair, batas plastis)

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan pada penelitian ini terbagi menjadi dua tahap, yaitu ada tahap sebelum eksperimen atau alur penelitian dan tahap eksperimen.



Gambar 1. Alur Penelitian



Gambar 2. Grafik pengaruh nilai kadar air terhadap penambahan POFA dan semen serta waktu pemeraman

4.2. Pengaruh Penambahan POFA dan Semen terhadap Berat Jenis

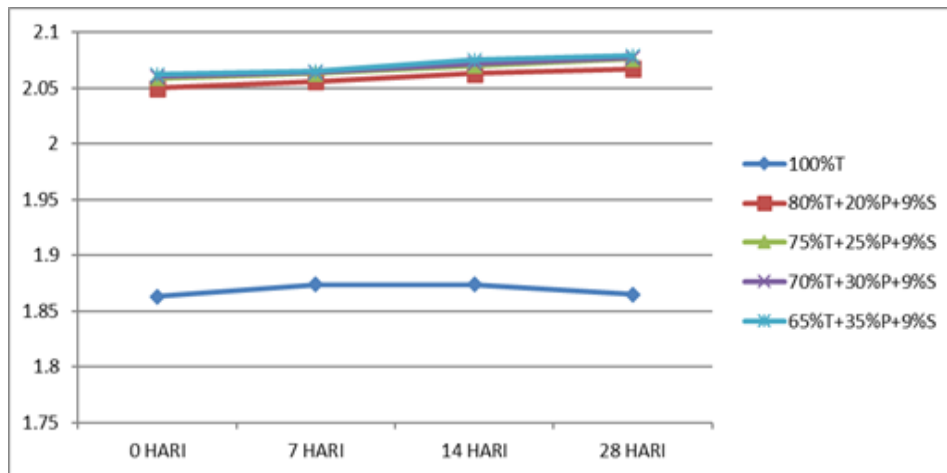
Pada berat jenis, dapat dianalisa bahwa terjadi perubahan antara berat jenis tanah asli dan berat jenis tanah dengan penambahan POFA dan semen. Perubahan yang terjadi pada tanah tersebut adalah nilai berat jenisnya naik, dimana nilai berat jenis ini naik akibat adanya reaksi

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Pengaruh Penambahan POFA dan Semen terhadap Kadar Air

Pengujian indeks properti tanah berupa pengujian kadar air tanah, berat jenis, dan atterberg dengan variasi penambahan POFA, semen, dan lama waktu pemeraman. Pada tiap tanah dengan penambahan variasi POFA semen maupun tanah asli terjadi penurunan nilai kadar air tiap pemeramannya. Nilai kadar air mula – mula (pada 0 hari) tidak memiliki perbedaan yang terlalu signifikan, namun pada pemeraman 7,14, hingga 28 hari terjadi penurunan yang beragam dan sedikit berbeda dari tanah asli. Pengaruh dari nilai kadar air ini menurun ialah akibat penguapan yang terjadi saat pemeraman waktu yang telah ditentukan, serta perbedaan penurunan nilai kadar air dari tiap variasi terjadi akibat adanya reaksi antara tanah, POFA, dan semen dalam kesatuan material tersebut, seperti yang terlihat di gambar 2.

yang terjadi antara tanah, POFA, dan semen dalam satu kesatuan material, namun pemeraman waktu tidak mempengaruhi nilai pada tanah dengan penambahan POFA semen maupun tanah asli, dapat dilihat dari grafik bahwa nilai tidak terjadi perubahan yang signifikan pada tiap pemeraman waktunya.

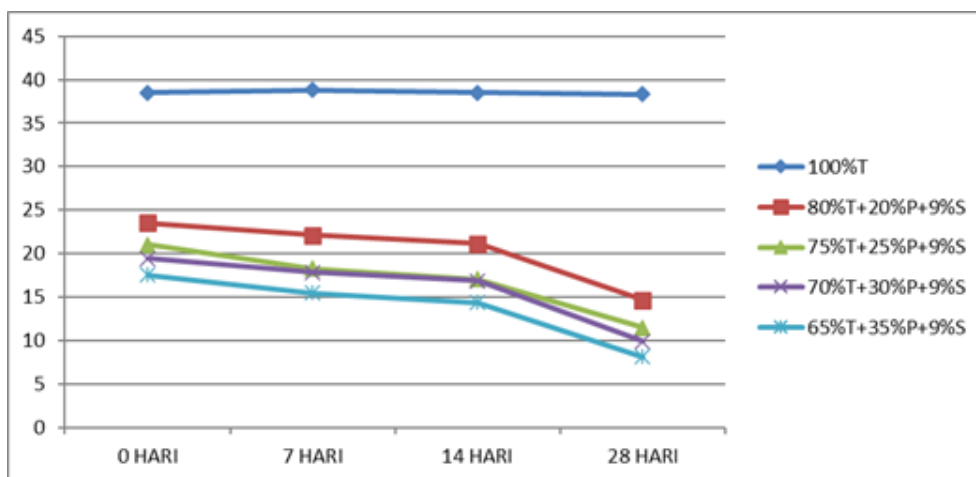


Gambar 3. Grafik pengaruh nilai berat jenis terhadap penambahan POFA dan semen serta waktu pemeraman

4.3. Pengaruh Penambahan POFA dan Semen terhadap Batas Atterberg

Pada atterberg, dapat dianalisa bahwa terjadi perubahan antara indeks plastisitas tanah asli dan indeks plastisitas tanah dengan penambahan POFA dan semen. Perubahan yang terjadi pada tanah tersebut adalah nilai indeks plastisitas menurun saat presentase POFA bertambah dan saat pemeraman terjadi.

Perubahan ini terjadi akibat adanya reaksi yang terjadi antara tanah, POFA, dan semen dalam satu kesatuan material dalam pemeraman waktu yang telah ditentukan. Selain itu juga pada indeks plastisitas ini tidak jauh dengan kadar air, maka kadar air dari tiap pemeraman dan jenis variasi tanah pun juga mempengaruhi nilai indeks plastis.



Gambar 4. Grafik pengaruh nilai indeks plastisitas terhadap penambahan POFA dan semen serta pemeraman waktu.

.Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian sampel tanah yang di ambil dari PT.PIL Dusun Pematang Bedato Teluk Raya, Kumpeh Hulu Muaro

Jambi maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil uji sifat fisik tanah asli didapat kadar air sebesar 82,192%, berat jenis sebesar 1,86, analisa saringan lolos No.200

sebesar 99,8%, dan memiliki indeks plastisitas sebesar 38,52%. Dengan mengkombinasi beberapa tabel dan sistem klasifikasi tanah, dapat disimpulkan bahwa tanah ini diklasifikasikan tanah gambut.

2. Pada pengujian sifat fisik tanah yang berpengaruh terhadap masa pemeraman adalah nilai kadar air dan indeks plastisitas, hal ini bisa diakibatkan terjadinya penguapan selama masa pemeraman yang mempengaruhi nilai kadar air dari kedua pengujian ini serta terjadinya reaksi antara tanah, POFA, dan semen dalam satu kesatuan. Nilai kadar air semakin lama diperam semakin kecil, begitu juga indeks plastisitas semakin lama diperam nilai semakin kecil. Sedangkan pada berat jenis pada masa pemeraman tidak berpengaruh terhadap hasil pengujiannya, melainkan karna penambahan POFA+semen saja yang mempengaruhi nilainya yang meningkat dari tanah asli.

Daftar Pustaka

- ASTM D4427-92. 2002. Standar Klasifikasi Gambut Sampel oleh Testing Laboratory.
- Bowles, J.E. 1989. Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. Erlangga. Jakarta, hal 90-94.
- Darwis. 2017. Dasar dasar teknik perbaikan tanah. Pustaka AQ Yogyakarta 1 (Pertama), 144. 2017
- Das, Braja M. 2010. Mekanika Tanah Jilid II. Jakarta:Mahameru.
- Dwina, D. O., Nazarudin, Kumalasari, D., & Fitriani, E. (2021). Stabilisasi Tanah Gambut Dengan Penambahan Material Kapur Dan Fly Ash Dari Sisa Pembakaran Cangkang Sawit Sebagai Subgrade Jalan. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 10, 24–32.
- Dwina, D. O., Nazarudin, Alfernando, O, Kumalasari, D., & Nofrina, E. (2022). Pengolahan POFA (Palm Oil Fuel Ash) dan Semen Sebagai Material Alternatif Timbunan Pilihan Jalan untuk perbaikan Infrastruktur Jalan. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 11, 78–87.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2008. Mekanika Tanah 2 Edisi Ke V. Yogyakarta:Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H.C. 2002. Mekanika Tanah I, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- L.D.Wesley (1977), Mekanika Tanah, cetakan VI, Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- NAVFAC DM – 7.1. 1982. Soil Mechanics Design Manual 7.01. Naval Facilities Engineering Command.
- Nugroho, Untoro. 2008. Stabilitas tanah gambut rawapening dengan menggunakan campuran semenportland dan gipsum sintesisditinjau dari nilai CBR. Universitas Negeri Semarang
- Sarief, E.Saifuddin. 1984. Ilmu Tanah Pertanian. Pustaka Buana:Jakarta
- SNI 6371-2015 (Standar Nasional Indonesia). Tata cara pengklasifikasian tanah untuk keperluan teknik dengan sistem klasifikasi unifikasi tanah.
- SNI 13-6793-2002. 2002. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI 3423 2008. 2008. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI 1966-2008. 2008. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI 1964-2008. 2008. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI 1965-2008. 2008. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI 6371-2015. 2015. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI 1743-2008. 2008. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.

- SNI 1744-2012. 2012. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- Soedarmono, G. Djatmiko. 1997. Mekanika Tanah I. Penerbit Kanisius : Yogyakarta.
- Soedarmo, G. D. & Purnomo, S. J. E. 1997. Mekanika Tanah I. Yogyakarta : Kanisius.
- Sulistianingsih, Tatik (2018) Penggunaan Campuran Limbah Abu Pova Dan Kapur Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Gambut Kalimantan
- Yuliana, Rizki. 2013. Karakteristik Fisis Dan Mekanis Abu Sawit (Palm Oil Fuel Ash) Dalam Geoteknik. Jurnal Teknik.

Perancangan Generator HHO Untuk Mengubah Air Menjadi Bahan Bakar Menggunakan Elektroda Grafit dan Katalis NaOH dengan Metode Elektrolisis

Muhammad Anggih Syafutra¹, Oki Alfernando^{1,2,3,*}, Lince Muis^{1,2}, Nur Haleza¹

¹ Program Studi Teknik Kimia, Universitas Jambi, Jalan Tribrata KM 11 Pondok Meja, Mestong, Jambi 36364

² Pusat Unggulan IPTEK Bio Geo Material & Energi, Universitas Jambi, Jalan Tribrata KM 11 Pondok Meja, Mestong, Jambi 36364

³ Pusat Studi Energi dan Nano Material, Universitas Jambi, Jalan Tribrata KM 11 Pondok Meja, Mestong, Jambi 36364

*E-mail: alfernandooki@unja.ac.id.

Abstrak

Indonesia mengisi sebesar 3,49% dari jumlah penduduk bumi dan sukses menduduki posisi ke-4 sebagai negara dengan jumlah penduduk terbesar di dunia. Dengan jumlah penduduk sebanyak itu, tentunya kebutuhan akan energi di Indonesia bisa terbilang sangat konsumtif. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan energi dalam negeri, energi alternatif sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan konsumtif akan energi di Indonesia, salah satu jenis energi terbarukan yang sangat potensial adalah mengubah air menjadi bahan bakar gas dengan metode elektrolisis. Pada penelitian ini, elektroda yang digunakan pada rangkaian alat konversi air menjadi bahan bakar (generator HHO) adalah elektroda grafit dengan menggunakan larutan NaOH sebagai katalis dengan 5 variasi konsentrasi, yaitu 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Dengan variasi konsentrasi akan didapat konsentrasi terbaik. Dengan efisiensi tertinggi pada konsentrasi katalis NaOH 20%, sebesar 63,95%.

Kata kunci: kebutuhan energi, energi alternatif, elektrolisis, grafit, katalis NaOH

1. Pendahuluan

Kenneth dan Jane (2006), menjelaskan bahwa perancangan adalah sebuah kegiatan merancang dan menentukan cara mengolah sistem informasi dari hasil analisa sistem sehingga dapat memenuhi kebutuhan dari pengguna termasuk diantaranya perancangan user interface, data dan aktivitas proses.

Menurut Muliawati (2008) dalam Wahyono (2016), energi merupakan kebutuhan pokok manusia dan konservasi energi terus dilakukan. Kayu, batubara hingga minyak bumi adalah sederetan sumber energi yang ketersediannya sudah mulai menipis. Energi fosil khususnya minyak bumi dan batu bara adalah sumber energi utama dan sebagai sumber devisa negara. Salah satu penggunaannya adalah sebagai pembangkit listrik. Energi fosil merupakan energi yang tidak terbarukan (non-renewable energy) dan energi fosil saat ini

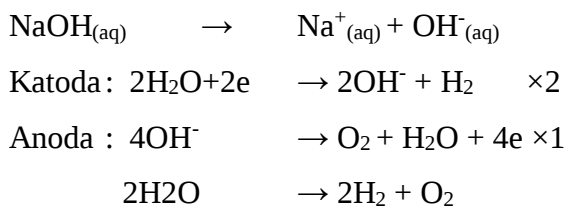
semakin menipis karena penggunaannya yang terus menerus tanpa adanya suatu alternatif untuk melakukan penghematan energi fosil itu sendiri.

Peraturan presiden no 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, mengamanatkan bahwa tahun 2025, konsumsi energi Indonesia adalah batu bara 33%, gas alam 30%, minyak bumi 20%, dan energi terbarukan 17%. Energi terbarukan 17% disini terdiri dari nabati 5%, panas bumi 5%, biomassa, nuklir, air, surya dan angin 5%, serta batu bara yang dicairkan 2%. Disini hidrogen belum merupakan prioritas pemerintah dalam pengembangan energi di Indonesia (Mujirto, 2013).

Menurut Widyatama (2017), elektrolisis air adalah peristiwa penguraian senyawa air (H₂O) menjadi oksigen (O₂) dan hidrogen gas (H₂) dengan menggunakan arus listrik yang melalui air tersebut. Gas hidrogen dan oksigen

yang dihasilkan dari reaksi ini membentuk gelembung pada elektroda dan dapat dikumpulkan. Prinsip ini kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan hidrogen yang dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan hydrogen. Dengan menggunakan energi dari Accu, Air (H₂O) dapat dipisahkan ke dalam molekul diatomik hidrogen (H₂) dan oksigen (O₂). Pada proses elektrolisis diperlukan zat elektrolit sebagai katalisator larutan, pada percobaan yang dilakukan dipilih soda api sebagai katalisator yang digunakan untuk campuran air pada proses elektrolisis air.

Reaksi yang terjadi :



Untuk mengetahui volume gas HHO yang dihasilkan, diukur dengan menggunakan flowmeter yang dapat diperoleh dengan persamaan:

$$V = 30/t \quad (1)$$

Dimana V adalah laju Produksi gas HHO (ml), 30 adalah jumlah yang dihasilkan diukur dengan flowmeter dan t adalah waktu yang diperlukan untuk menghasilkan gas HHO.

Produk gas HHO yang terukur pada Oksihidrogen flowmeter dalam satuan l/min, dan energi yang berikan untuk memproduksi gas Oksihidrogen adalah energi listrik yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi elektrolisis air dalam satuan watt (J/sec). Maka untuk menghitung peforma generator Oksihidrogen diturunkan dari persamaan berikut ini:

$$COP_{HHO} = \frac{m_{HHO} \times LHV}{P_{HHO}} \times 10 \quad (2)$$

Dimana COP adalah performa generator oksihidrogen (%), m adalah laju aliran massa gas oksihidrogen (l/min), LHV adalah nilai kalor bawah (kJ/kg) dan P adalah daya yang dibutuhkan generator (watt) (Harman, 2019).

Menurut Afif (2017), konsumsi daya generator HHO dapat ditentukan menggunakan Persamaan :

$$P = VI \quad (3)$$

Dimana :

P = Daya alat (Watt)

V = Beda potensial (Volt)

I = Kuat arus listrik (Ampere)

Proses elektrolisis air menggunakan generator HHO tipe kering akan menghasilkan Brown's gas atau gas HHO. Sehingga diperlukan untuk mengetahui laju produksi Brown's gas atau gas HHO yang dihasilkan oleh guna mengetahui seberapa bagus kinerja dari generator tersebut dengan membandingkan volume dengan waktu dalam produksi gas HHO. Produktivitas gas HHO dapat diukur dengan persamaan berikut ini :

$$Q = V/t \quad (4)$$

Dimana :

Q = Produktivitas gas HHO (l/s)

V = Volume gas HHO (l)

t = waktu

Untuk mengetahui efisiensi alat yang didesain, dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini :

$$\eta = \frac{Q_{HHO} \times \rho_{HHO}}{P} \times LHV_{HHO} \quad (5)$$

Dimana :

Q_{HHO} = Produktivitas gas HHO (l/s)

ρ_{HHO} = Massa jenis gas HHO (g/l)

LHV_{HHO} = Nilai energi terendah (J/gr)

P = Konsumsi daya generator (Watt)

Grafrit adalah satu inti karbon yang merupakan konduktor listrik yang bisa digunakan sebagai material elektroda pada sebuah lampu listrik. Bahan grafit mempunyai keistimewaan seperti sifat mekanis seperti logam, ringan dan mempunyai sifat yang baik serta dari segi

ekonomi bahan dasar grafit buatan tersedia melimpah dan murah (Artadi, 2007).

Pemilihan grafit sebagai elektroda adalah selain karena grafit memiliki sifat seperti logam, melainkan juga untuk menanggulangi atau mengurangi korosi. Dikarenakan grafit tidak dapat berkarat, maka pemilihan grafit dirasakan pilihan yang tepat. Serta, penggunaan larutan NaOH sebagai katalis juga dikarenakan salah satu elektrolit yang mudah ditemukan.

NaOH merupakan basa kuat yang merupakan senyawa ionik yang bila dilarutkan dalam air akan terdisosiasi menjadi Na^+ dan OH^- . NaOH dapat terdisosiasi secara sempurna, oleh karena itu disebut sebagai basa kuat. Sedangkan bila dibandingkan dengan basa lemah seperti NH_3 adalah basa lemah yang akan lambat terdisosiasi (Sulungbudi, 2007). Oleh karena pertimbangan tersebut, penelitian ini menggunakan katalis NaOH. Belum lagi bila dibandingkan dengan basa kuat lain seperti KOH, katalis NaOH lebih ekonomis dan mudah didapatkan.

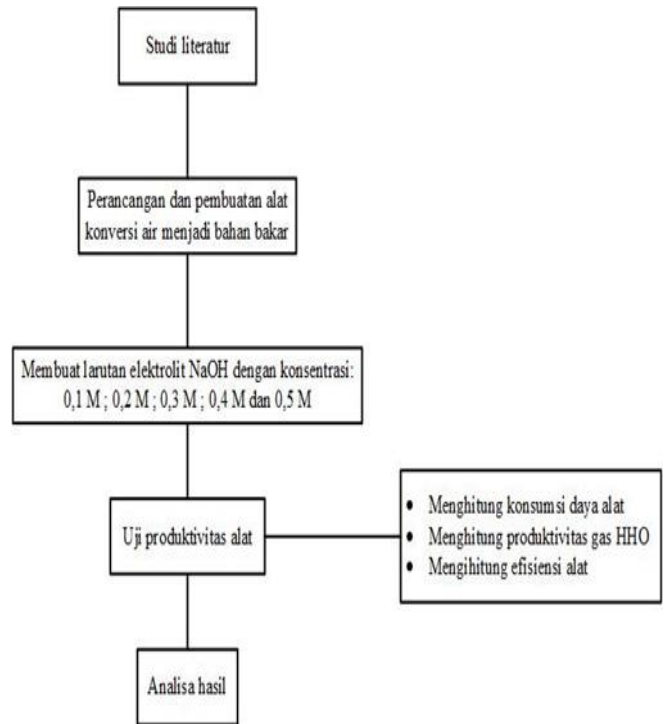
2. Metodologi

Alat dan bahan yang diunakan dalam penelitian ini adalah wadah plastik sebagai tempat reaksi elektrolisis, sedangkan elektroda grafit berupa inti baterai senter 1,5 volt ukuran besar (tipe D) sebanyak 9 pasang (18 buah), serta sumber daya listrik berupa power supply 12 volt, 10 ampere.



Gambar 1. Rangkaian alat

Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Elektroda grafit didapatkan dari inti karbon yang ada didalam baterai tabung tipe D, didapatkan batang karbon dengan ukuran diameter 0,6 cm dan tinggi 5,6 cm. Setelah didapatkan batang karbon sebanyak 18 buah, kemudian batang karbon tersebut dirangkai dengan kabel, untuk selanjutnya bisa dihubungkan ke power supply. Batang karbon tersebut dirangkai secara seri, dimana masing-masing batang karbon/grafit dihubungkan dengan kabel lalu dipisahkan menjadi elektroda dan anoda masing-masing sebanyak 9 buah. Kemudian, masing-masing kabel elektroda disatukan kepada kabel dengan kawat tembaga tunggal berukuran 2 x 1,5 mm, kemudian dibalut dengan isolator listrik agar dapat mengurangi panas yang ditimbulkan.

Kemudian preparasi katalis NaOH, persiapan yang harus dilakukan adalah membuat larutan elektrolit dari NaOH bubuk, dengan variasi konsentrasi 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Dimana bubuk NaOH dilarutkan dalam air sampai mencapai volume sebesar 1500 ml (1,5 liter). Jadi, didapatlah hasil perhitungan massa NaOH untuk masing-masing konsentrasi sebagai berikut.

Tabel 1. Massa NaOH yang dibutuhkan untuk membuat 1,5L larutan elektrolit

No	Konsentrasi larutan (%)	Massa yang dibutuhkan (g)
1	5	75
2	10	150
3	15	225
4	20	300
5	25	375

Setelah semua persiapan berupa persiapan alat dan larutan elektrolit, maka pengambilan data produktivitas gas HHO dapat dilakukan dengan merangkai alat seperti gambar diatas. Wadah reaksi elektrolisis dihubungkan ke power Supply sebagai sumber listrik dan dihubungkan juga dengan aerator akuarium dengan menggunakan selang, kemudian output gas dari wadah tersebut dialirkan ke bubbler dengan menggunakan selang, lalu gas akan ditampung dan diukur kecepatannya di dalam gelas ukur 100 ml yang dipasang secara terbalik dengan statif dan klef sebagai penyangganya, sebelumnya gelas ukur tersebut diisi dengan air hingga penuh sehingga dapat diamati dan diukur volume gasnya, lalu dihitung kecepatan waktu volumenya dengan stopwatch. Dengan demikian dapat dicari produktivitas gas HHO-nya.

3. Hasil dan pembahasan

Produktivitas gas HHO adalah kemampuan alat untuk memproduksi gas HHO dalam volume tertentu dibanding dengan waktu yang

dibutuhkan alat untuk memenuhi volume tersebut, sehingga dapat diperoleh ukuran efisiensi produktif dari alat tersebut. Karena dalam penelitian ini menggunakan aerator akuarium untuk menambah tekanan agar gas dapat mengalir, maka produktivitas gas total akan dikurangi dengan produktivitas udara dari aerator akuarium. Jadi didapatkanlah produktivitas gas HHO-nya.

Tabel 2. Produktivitas udara kompresor dengan volume 100

Data ke-	Waktu yang dibutuhkan (s)	Produktivitas udara (v/s)
1	16,90	0,006
2	18,79	0,0053
3	16,75	0,006
4	17,66	0,0056
5	18,23	0,0056
Rata-rata	17,67	0,0057

Produktivitas udara didapatkan dengan menggunakan persamaan (4). berdasarkan spesifikasi dari kompresor yang digunakan, laju alir udara atau kapasitas produksi udara maksimum yang dapat dihasilkan oleh kompresor tersebut adalah sebesar 2,5 liter/menit. Namun setelah diimplementasikan kepercobaan alat, data yang didapatkan adalah sebagai ditunjukan pada Tabel 3 di atas. Hal ini kemungkinan terjadi bisa saja diakibatkan oleh beberapa faktor, seperti pengaruh ukuran bak reaksi, panjang selang yang digunakan dan lain sebagainya.

Tabel 3. Produktivitas gas HHO dengan waktu rata-rata

Konsentrasi (%)	waktu (s)					Waktu rata-rata (s)	Produktivitas gas HHO + udara kompresor	Produktivitas gas HHO (v/t)
5	17,65	16,03	15,09	16,84	16,19	16,36	0,0061	0,0005
10	11,13	15,31	13,51	15,29	13,85	13,818	0,0072	0,0016
15	14,76	12,45	13,76	13,89	12,67	13,506	0,0074	0,0017
20	11,43	12,38	12,61	13,37	13,58	12,674	0,0079	0,0022
25	11,12	12,96	14,67	13,38	12,89	13,004	0,0077	0,0020

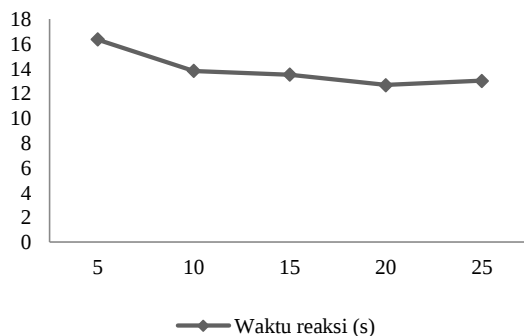
Produktivitas gas HHO dengan waktu rata-rata, adalah laju alir atau produktivitas gas hasil produksi yang didapatkan dengan

cara pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali setiap konsentrasi, kemudian data waktu yang didapatkan akan dicari rata-

ratanya lalu dimasukkan ke-persamaan (4) dan didapatkanlah hasil seperti Tabel 2 diatas.

Untuk mendapatkan produktivitas gas HHO, produktivitas gas yang dihasilkan oleh alat harus dikurangi dengan produktivitas udara dari kompresor. Hal ini bertujuan untuk mengetahui jumlah gas HHO yang dihasilkan dalam percobaan alat tersebut, selain itu hal ini juga bertujuan untuk mengetahui efisiensi alat dengan tidak mengukur keseluruhan gas yang dihasilkan. Jadi hanya gas HHO saja yang diukur efisiensinya. Untuk mendapatkan data produktivitas udara, caranya juga sama dengan mendapatkan data produktivitas gas secara keseluruhan. Hanya saja, peneliti tidak menyalakan power supply sehingga gas HHO tidak terbentuk. Sehingga, udara yang dihasilkan murni dari kompresor.

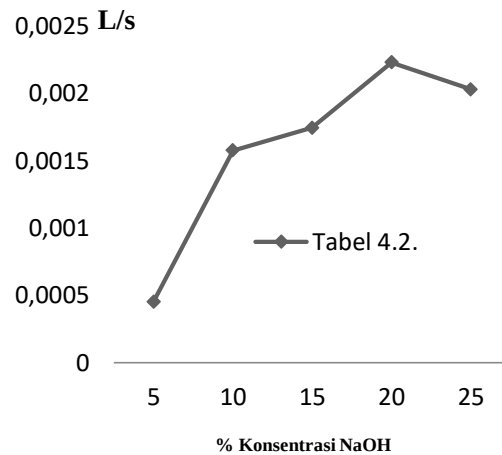
Setelah didapatkan hasil perhitungan yang ditampilkan pada Tabel 2. dan Tabel 3. dapat diperoleh grafik sebagai berikut.



Gambar 3. Perbandingan waktu reaksi (s) dengan konsentrasi NaOH (%) dengan volume 0,1L

Data waktu didapatkan dengan cara menghitung lamanya gas yang dihasilkan untuk memenuhi gelas ukur skala 100 ml, menggunakan alat ukur berupa stopwatch. Gelas ukur diisi dengan air hingga penuh kemudian diposisikan secara terbalik dengan disangga dengan statif dan klef dan

mulut gelas ukur berada didalam wadah bubbler yang berisi air yang dihubungkan dengan selang output dari alat elektrolizer.



Gambar 3. Produktivitas gas HHO setiap konsentrasi NaOH

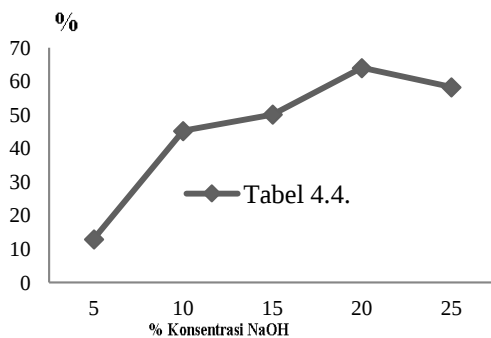
Gambar 4 menunjukkan grafik yang didapatkan pada Tabel 2. dimana, dapat dilihat bahwa produktivitas gas HHO cenderung naik selaras dengan semakin tingginya konsentrasi katalis NaOH. Tapi, terlihat dari grafik pada Gambar 3 pada data katalis NaOH dengan konsentrasi 25%, produktivitas gas HHO mengalami penurunan. Hal ini diakibatkan oleh waktu yang didapat pada data konsentrasi katalis NaOH 25% lebih lama dibandingkan data konsentrasi katalis NaOH 20%. Kemungkinan kesalahan ini diakibatkan oleh adanya kelebihan muatan listrik pada power supply jadi, daya yang dihasilkan kemungkinan tidak stabil. Hal ini ditandai oleh, panasnya power supply saat dijalankan pada reaksi tersebut.

Efisiensi alat ditunjukan pada saat alat tersebut dapat berkerja secara optimal dalam kondisi tertentu. Cara menentukan efisiensi alat yang dirancang ini dilakukan dengan cara membandingkan antara produktivitas gas HHO, massa jenis gas HHO dan nilai energi terendah gas HHO dengan konsumsi daya alat atau bisa didapatkan dengan menggunakan persamaan (2.5).

Tabel 4. Efisiensi alat berdasarkan rata-rata waktu

Konsentrasi NaOH (%)	Produktivitas gas HHO (v/t)	Efisiensi (%)
5	0,0005	12,96
10	0,0016	45,21
15	0,0017	50,01
20	0,0022	63,95
25	0,0020	58,21

Berikut data efisiensi alat ditampilkan secara grafik :

**Gambar 4.** Efisiensi alat

Data pada **Tabel 4.** dan **Gambar 4** diatas menunjukkan bahwa pengaruh konsentrasi NaOH tidak selalu linear dengan efisiensi alat. Hal ini ditunjukkan dengan efisiensi alat pada konsentrasi NaOH 5%, efisiensi alat sebesar 12,96%. Kemudian pada konsentrasi NaOH 10%, efisiensi naik menjadi sebesar 45,21%. Lalu pada konsentrasi NaOH 15%, efisiensi alat naik menjadi 50,01%. Kemudian pada NaOH 20%, efisiensi alat naik menjadi 63,95%. Dan pada konsentrasi NaOH 25%, efisiensi alat kembali turun menjadi sebesar 58,21%.

Dapat dilihat dari data diatas, bahwa kondisi yang paling optimal adalah saat alat elektrolizer dioperasikan dengan menggunakan larutan elektrolit NaOH dengan konsentrasi 20%. Dimana, efisiensinya yang paling tinggi yaitu sebesar 63,95%.

4. Kesimpulan

1. Variasi konsentrasi katalis NaOH sangat berpengaruh dengan volume gas HHO yang dihasilkan. Karena semakin tinggi konsentrasi katalis NaOH, maka semakin banyak volume gas yang dihasilkan. Akan tetapi pada konsentrasi katalis NaOH 25%, volume yang dihasilkan menurun jumlahnya disbanding dengan katalis NaOH 20%.
2. Efisiensi alat sangat bergantung dengan produktivitas gas HHO yang dihasilkan dan produktivitas gas HHO bergantung dengan variasi konsentrasi katalis NaOH.

Daftar Pustaka

- Afif, Muhammad Thowil., dkk. 2017. *Produksi Brown's Gas Pada Elektrolizer Tipe Drycell Dengan Material Elektroda Berbeda*. ISSN 2407-4845
- Harman dan Ahyar M., 2019. *Design Of HHO Generator To Reduce Exhaust Gas Emissions And Fuel Consumption Of Non-Injection Gasoline Engine*. Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin. Vol. 4, No. 1., ISSN 2548-7590.
- Hasan, Muhammad Nur. 2019. *Analisa Volume Hidrogen Dan Temperatur Nyala Api Pada Generator HHO (Variasi Jarak Plat, Luasan Plat, Dan Penambahan Katalis)*. ISSN : 2622-1284.
- Holleman, A. F.; Wiberg, E. 2001. *Inorganic Chemistry*. Academic Press: San Diego. ISBN 0-12-352651-5.
- Kimbrough, David Eugene. et.al. 2006. *The effect of electrolysis and oxidation–reduction potential on microbial survival, growth, and disinfection*. Int. J. Environment and Pollution, Vol. 27, Nos. 1/2/3.
- Laudon, Kenneth C. Dan Laudon, Jane P. 2006. *Sistem Informasi Manajemen*. Terjemahan Chriswan Sungkono Dan

- Machmudin Eka P. Edisi 10. Jakarta: Salemba Empa.
- Maulana, Inan. 2017. *Perancangan alat pendeteksi kualitas air minum menggunakan elektrolisis dan konduktivitas berbasis arduino uno*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- Murjito. 2013. *Rancang Bangun Electrolyzer Sistem Dry Cell Untuk Penghematan Bahan Bakar Kendaraan Bermotor*. JURNAL GAMMA, ISSN 2086-3071.
- Nafisah, Syifaun. (2003). *Grafika Komputer*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Nugroho, Heru Fitra dan Bambang Yunianto. 2016. *Pengujian Penggunaan Generator Hho Jenis Drycell Terhadap Performa Mesin Sepeda Motor*. Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 4, No. 2.
- Sasongko, Endar Budi. dkk. 2014. *Kajian kualitas air dan penggunaan sumur gali oleh masyarakat di sekitar sungai kaliyasa kabupaten cilacap*. Jurnal Ilmu Lingkungan. Volume 12 Issue 2: 72-82.
- Sopandi, Ihsan, et.al,. 2015. *Studi Ketebalan Elektroda Pada Produksi Gas HHO (Hidrogen Hidrogen Oksigen) Oleh Generator HHO Tipe Basah Dengan Katalis Natrium Bikarbonat*. Jurnal Rona Teknik Pertanian. ISSN : 2085-2614.
- Wahyono, Anies R. 2016. *Pembuatan Alat Produksi Gas Hidrogen dan Oksigen Tipe Wett Cell dengan Variasi Luas Penampang*. Jurnal Teknik Energi Vol 12 No. 1.
- Widyatama, Anton Putra. 2017. *Rancang Bangun Proses Produksi Gas Hidrogen (H_2) Melalui Elektrolisis Air Menggunakan Buck Converter Berbasis Mikrokontroler Arduino*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.

Pengaruh Waktu Blooming Dan Massa Air Terhadap pH, TDS, Dan EC Pada Kopi Robusta Liwa Lampung dengan Metode Aeropress

Amandha Putri Eltri, Ecclesya Agata Simanjuntak, M. Galuh Saputra, Muhammad Haviz*,
M. Rafli Akbar, Ni Putu Ariessa Nandini, Yuli Darni

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. S. Brodjonegoro No. 1, Gedong Meneng, Rajabasa,
Bandar Lampung, 35145, Indonesia

Email : muhammadhaviz@eng.unila.ac.id

Abstrak

Kopi Robusta merupakan jenis kopi yang banyak diminati dan dinikmati. Penyeduhan kopi adalah cara yang dapat dilakukan untuk menikmati kopi tersebut. Metode Penyeduhan kopi adalah salah satu faktor yang akan mempengaruhi rasa pada hasil seduhan kopi. Rasa yang dihasilkan dari seduhan kopi dapat dilihat juga dari tingkat keasamannya. Tingkat keasaman dapat diperoleh dengan melakukan pengujian pH pada sampel seduhan kopi yang dihasilkan. Air juga merupakan faktor penting dalam penyeduhan kopi, sehingga perlu dilakukan pengujian TDS dan EC agar dapat diketahui nilai padatan terlarut dan konduktivitas listrik pada hasil seduhan kopi. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh variasi waktu blooming dan massa air terhadap pH, TDS dan EC sehingga dari hal tersebut bisa mempertimbangkan tingkat keasaman serta padatan terlarut pada kopi agar baik untuk dikonsumsi oleh lambung. Penelitian ini menggunakan metode Aeropress teknik inverted dengan faktor pengaruh waktu blooming 60 detik, 75 detik, dan 90 detik serta massa air 24 gr, 34 gr, dan 36 gr. Sedangkan variabel tetap untuk biji kopi sebanyak 12 gr setiap melakukan pengambilan sampel. Selanjutnya digiling menggunakan manual grinder No. 3, serta Volume Air yang sebanyak 150 gr dengan suhu air 93°C. Hasil pada penelitian ini didapatkan bahwa waktu blooming dan massa air akan mempengaruhi nilai pH, TDS, dan EC.

Kata kunci: kopi robusta, aeropress, waktu *blooming*, kopi lampung, *tds*

1. Pendahuluan

Kopi merupakan salah satu komoditas penting didalam perdagangan dunia yang melibatkan beberapa negara produsen dan banyak negara konsumen. Kopi, meskipun bukan merupakan tanaman asli Indonesia tetapi mempunyai peranan penting dalam industri perkebunan di Indonesia. Tahun 2015, dengan laju perkembangan area kopi sebesar 3,02%. Indonesia mampu memproduksi biji kopi dengan total 686.921 ton (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2017).

Kopi (*Coffea* sp) merupakan tanaman yang menghasilkan sejenis minuman, minuman ini dihasilkan dari seduhan kopi dalam bentuk bubuk. Flavor pada kopi yang dihasilkan berpengaruh pada beberapa faktor yakni jenis biji hijau yang digunakan, penyangraian, penggilingan, hingga metode penyeduhannya. Di Indonesia sendiri pada umumnya ada beberapa varietas kopi yang tumbuh antara lain adalah Arabika (*Coffea Arabica* L.), Robusta (*Coffea Canephora*), Liberica (*Coffea Liberica*) (Irfan & Kamil, 2019). Akan tetapi kopi Arabika dan Robusta merupakan jenis kopi

yang memiliki tingkat permintaan paling tinggi di Indonesia, dibandingkan dengan jenis kopi lainnya.

Wilayah Lampung memiliki potensi yang besar untuk mengembangkan potensi kopi yang baik untuk dikonsumsi dan dimanfaatkan secara maksimal. Perkebunan kopi yang cukup luas sesuai untuk pengembangan sektor produksi biji tanaman kopi, baik dilihat dari potensi tanah maupun iklimnya serta permintaan yang cukup tinggi di pasaran.

Tercatat dalam Badan Pusat Statistik Lampung (2015) diketahui bahwa produksi dan produktivitas kopi Indonesia dari tahun 2011 sampai tahun 2015 rata-rata adalah 672.682,4 ton dan 0,53 ton per hektar dan masih sangat rendah jika dibandingkan dengan potensinya (1,2 ton per hektar). Kopi tetap menjadi komoditas unggulan pertanian di Provinsi Lampung disusul lada hitam, udang (segar/olahan) dan coklat.

Kopi di Provinsi Lampung pada umumnya adalah kopi jenis robusta. Perkebunan kopi di

dataran tinggi Lampung sebagian besar adalah perkebunan rakyat, khususnya di daerah Lampung Barat, Tanggamus dan Lampung Utara (Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung, 2015)

Kopi Robusta sendiri berasal dari kata “robust” yang artinya kuat, sesuai dengan gambaran postur (body) atau tingkat kekentalannya yang kuat. Kopi robusta dapat tumbuh di dataran rendah dengan suhu optimal 24-30°C dengan curah hujan 2000-3000 mm per tahun pada ketinggian 400-800 mdpl, dan sangat cocok ditanam di daerah tropis yang basah. Tingkat keasaman tanah (pH) yang ideal untuk tanaman kopi robusta adalah 5,5-6,5. Tanaman kopi jenis ini akan berbuah dengan baik dalam waktu 3-4 bulan dalam setahun. Buahnya dihasilkan dari cabang primer yang tumbuh mendatar, cukup lentur sehingga membentuk tajuk seperti payung (Putri, 2014).

Setiap biji kopi memiliki komposisi kimia yang berbeda-beda tergantung pada tanah tempat tumbuh, jenis kopi, derajat kematangan, cara pengolahan, dan kondisi penyimpanan. Komposisi kimia biji kopi sangat mempengaruhi atribut sensori yang dihasilkan (Clarke dan Macrae, 1985). Kopi robusta memiliki kandungan kafein yang lebih tinggi daripada kopi arabika yang membuat aroma kopi robusta menjadi lebih kuat (Bhara, 2009). Selain itu, kandungan senyawa asam klorogenat pada kopi robusta lebih banyak dibanding arabika. Tingginya senyawa asam klorogenat pada kopi robusta dapat melindungi tanaman kopi dari gangguan mikroorganisme, serangga dan sinar UV sehingga produktivitas kopi robusta lebih tinggi (Farah et al., 2006).

Penyeduhan pada pembuatan minuman kopi adalah proses terjadinya ekstraksi pada kopi bubuk dengan air panas. Terdapat berbagai macam cara atau metode penyeduhan untuk mengekstraksi kopi bubuk. metode penyeduhan ini juga akan mempengaruhi komposisi kimia, aroma, flavor serta rasa dari kopi. Metode penyeduhan yang paling umum didunia ialah dengan menggunakan air panas (Farah et al., 2006).

Beberapa faktor yang harus diperhatikan terkait penggunaan metode penyeduhan kopi ialah lamanya waktu air mengalami kontak langsung dengan kopi bubuk, suhu air yang digunakan, serta tipe tekanan (pressure) untuk penyeduhan kopi.

Hal ini diperkuat dari penelitian oleh Farah (2009), suhu air yang digunakan tidak lebih dari 90-96°C serta proporsi yang digunakannya pun berbeda-beda, biasanya 8-20 g kopi/ 100mL air dengan waktu ekstraksi yang bervariasi. Ukuran partikel juga sangat bervariasi dari bentuk bubuk hingga partikel kasar sesuai dengan metode penyeduhan yang digunakan. Menurut Yi-Fang Chu (2012), persiapan penyaringan dari kopi seduh bubuk akan berpengaruh terhadap komponen kopi yang diekstrak. Biasanya, komponen yang larut dalam air termasuk asam klorogenat, kafein, asam nikotinat, senyawa melanoidin, dan senyawa volatil hidrofilik akan terekstrak lebih tinggi jika menggunakan temperatur dan tekanan tinggi. Ketika diseduh, fraksi lemak pada bubuk kopi akan membentuk emulsi dalam cangkir.

Menurut (Samsura, 2012), saat ini terdapat berbagai macam alat seduh yang dapat menghasilkan minuman kopi berkualitas. Namun, terdapat beberapa hal penting yang tidak dapat diabaikan untuk bisa mendapatkan minuman kopi yang berkualitas selain dari alat seduh yang digunakan, seperti menggunakan biji kopi yang berkualitas, air dengan suhu yang benar (90-96°C), peralatan yang bersih, menakar perbandingan kopi dan air dengan benar, dan menentukan tingkat kehalusan bubuk kopi (grind size) sesuai dengan waktu seduh dan alat yang digunakan. Setiap metode seduh akan memberikan kualitas rasa dan sensasi yang berbeda pada hasil seduhannya. Aeropress adalah alat seduh kopi yang tergolong dalam metode pressurized infusion.

Aeropress merupakan salah satu alat seduh manual yang menggunakan filter kertas untuk menyaring atau memisahkan antara cairan dan padatan hasil ekstraksi kopi. Diciptakan oleh Alan Adler pada tahun 2002. Aeropress

menjadi alat seduh manual yang banyak digunakan di seluruh dunia.



Gambar 1. Aeropress

Pada umumnya banyaknya kopi bubuk yang digunakan untuk menghasilkan secangkir kopi dengan teknik seduh aeropress adalah 10 g dengan air seduh sebanyak 150 mL (Samsura, 2012). Lama waktu yang diperlukan untuk menyeduh kopi dengan alat ini adalah 20-30 detik. Karakter seduhan kopi yang dihasilkan oleh alat seduh ini hampir sama dengan espresso. Perbedaan signifikan terdapat pada *aftertaste* yang lebih *clean* dan *mouthfeel* body yang lebih rendah jika dibandingkan dengan espresso. Hal ini dikarenakan perbedaan jumlah air dan bubuk kopi yang digunakan serta besarnya tekanan yang diberikan. Dalam proses penyeduhan, alat ini memberikan tekanan sekitar 4-5 atm (Hernandez, 2017).

Penelitian ini berfokus pada teknik penyeduhan kopi menggunakan alat Aeropress metode *inverted* dengan merubah variabel yaitu massa air dan kopi serta waktu blooming kopi yang tepat, terhadap kadar pH dan karakteristik pada kopi robusta dalam metode Aeropress. Dengan mengetahui hal tersebut kita dapat mempertimbangkan tingkat keasaman kopi agar baik untuk dikonsumsi bagi lambung konsumen. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakter kopi yang baik setelah diseduh dari nilai TDS dan EC sebagai patokan kopi yang baik dikonsumsi.

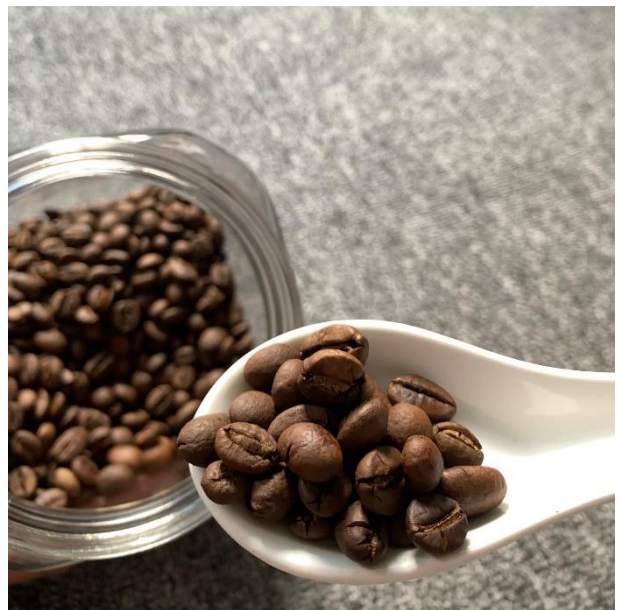
2. Metodologi

Penelitian ini dilaksanakan di Unit Layanan Komputer, Teknik Kimia, Universitas

Lampung. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah Air dan Biji Kopi Robusta Liwa Lampung. Alat yang digunakan dalam penelitian adalah Aeropress, Timbangan, Grinder, Water heater, Filter air, pH meter, TDS & EC meter, Pengaduk, Gelas.

Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) faktorial, yang terdiri atas dua faktor perlakuan dan setiap kombinasi perlakuan diulang 3 kali. Faktor perlakuan adalah kombinasi dari perlakuan massa air dan waktu blooming. Faktor pertama adalah massa air yang terdiri dari tiga variabel, yaitu M1 : 24 gr, M2 : 30 gr, dan M3 : 36 gr. Faktor kedua adalah waktu blooming yang terdiri dari tiga variabel, yaitu W1 : 60 detik, W2 : 75 detik, dan W3 : 90 detik.

Penelitian ini menggunakan variabel tetap dengan biji kopi robusta liwa lampung sebanyak 12 gr setiap melakukan pengambilan sampel. Biji kopi digiling dengan variabel tetap menggunakan manual grinder No. 3, serta Volume Air yang digunakan untuk penyeduhan kopi sebanyak 150 gr dengan suhu air 93°C menggunakan metode Aeropress teknik *inverted*.



Gambar 2. Biji Kopi Robusta Lampung Barat

2.1. Proses Penyeduhan (*Brewing*) Kopi

Adapun prosedur *brewing* kopinya adalah sebagai berikut :

1. Siapkan alat dan bahan terlebih dahulu
2. Timbang biji kopi robusta liwa lampung sebanyak 12 gr
3. Lakukan penggilingan dengan ukuran serbuk kopi sebesar 3 pada grinder
4. Masukkan hasil penggilingan biji kopi sebanyak 12 gr ke dalam aeropress, lalu ratakan permukaan serbuk kopi dalam aeropress
5. Panaskan air dengan water heater sampai suhu 93 °C
6. Kemudian masukkan air panas dalam aeropress dengan variasi massa air yang sudah ditentukan
7. Lakukan pengadukan dengan 10 kali adukan searah jarum jam
8. Diamkan bubuk kopi yang sudah diberi air sebanyak massa air yang ditentukan dengan waktu blooming yang sudah divariasikan juga
9. Setelah mencapai waktu blooming yang sudah ditentukan, tambahkan air hingga massa nya mencapai 150 gr
10. Tutup Aeropress dengan menggunakan kertas filter yang sudah dibilas dan diletakkan pada tutup Aeropress
11. Letakkan gelas yang sudah disediakan pada tutup Aeropress, kemudian balikkan alat Aeropress yang sudah diletakkan gelas
12. Selanjutnya lakukan penekanan secara perlahan pada Aeropress hingga proses ekstraksi kopi selesai dan didapatkan *liquor* yang sudah divariasikan waktu blooming dan massa airnya
13. Pisahkan *liquor* pada wadah tertentu sebagai sampel untuk dilakukan pengukuran pH, TDS dan EC.

2.2. Pengukuran Derajat Keasaman (pH)

Pada penelitian ini dilakukan penentuan tingkat keasaman atau pH pada setiap sampel yang dilakukan pengujian untuk mengetahui tingkat keasaman dari hasil seduhan kopi dengan pengaruh variabel massa air pada 24 gr, 30 gr, dan 36 gr serta waktu blooming yaitu pada 60 detik, 75 detik, dan 90 detik.

2.3. Penentuan Padatan Terlarut dan Nilai Konduktivitas Listrik

Pada penelitian ini dilakukan penentuan padatan terlarut dan nilai konduktivitas listrik pada setiap sampel yang dilakukan pengujian untuk mengetahui dari hasil seduhan kopi dengan pengaruh variabel massa air pada 24 gr, 30 gr, dan 36 gr serta waktu blooming yaitu pada 60 detik, 75 detik, dan 90 detik.

3. Hasil dan Pembahasan

Kopi yang digunakan dalam penelitian ini adalah kopi Robusta yang berasal dari Liwa, Lampung. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode AeroPress teknik inverted dengan menetapkan beberapa variabel yang digunakan untuk penyeduhan kopi. Adapun variabel yang terkontrol adalah variabel massa kopi yang digunakan yaitu sebanyak 12 gr dengan hasil dari penggilingan biji kopi yaitu mengatur No. 3 pada manual grinder untuk mendapatkan size *medium coarse* yang diinginkan pada hasil bubuk yang digiling, dan total volume air yang digunakan yaitu sebanyak 150 gr dengan suhu air 93°C.

Adapun variabel yang berubah dan berpengaruh terhadap pH, TDS dan EC pada penelitian ini adalah memvariasikan variabel massa air yang digunakan untuk berbagai variasi waktu blooming. Variasi waktu blooming yang dilakukan yaitu pada waktu 60 detik, 75 detik, dan 90 detik dengan masing – masing waktu blooming harus memvariasikan massa air. Dengan variasi massa air yang digunakan adalah sebanyak 24 gr, 30 gr, dan 36 gr.

Hasil pengujian yang didapatkan pada penelitian ini dilihat dari hasil pH, TDS dan EC yang didapatkan dari faktor perlakuan massa air dan waktu blooming. Keasaman adalah salah satu poin penting pada kopi. Menurut (Asiah, 2017) rasa asam yang terdeteksi pada seduhan kopi berasal dari kandungan asam yang ada dalam kopi, yaitu dari kelompok asam karboksilat pada biji kopi antara lain asam format, asam asetat, asam oksalat, asam sitrat, asam laktat, asam malat, dan asam quinat. Tingkat keasaman kopi merupakan komponen penting yang menandakan varian citarasa suatu kopi (Hanafi & Sulaiman, 2018) Salah satu istilah yang sering digunakan adalah bright

acidity yang menandakan tingkat keasaman yang pas dan tidak berlebihan bagi konsumen. Penelitian (Angeloni., et al, 2019) menunjukan bahwa pH kopi hasil seduhan metode pour over, Aeropress, dan French Press hampir sama yaitu berkisar antara 5,15 - 5,16. Tingkat keasaman yang kurang disukai konsumen adalah kopi yang tingkat keasamannya terlalu tinggi atau terlalu rendah yang membuat tingkat keasaman kopi menjadi tidak sesuai dengan jenis dan taste notes kopi yang ada.

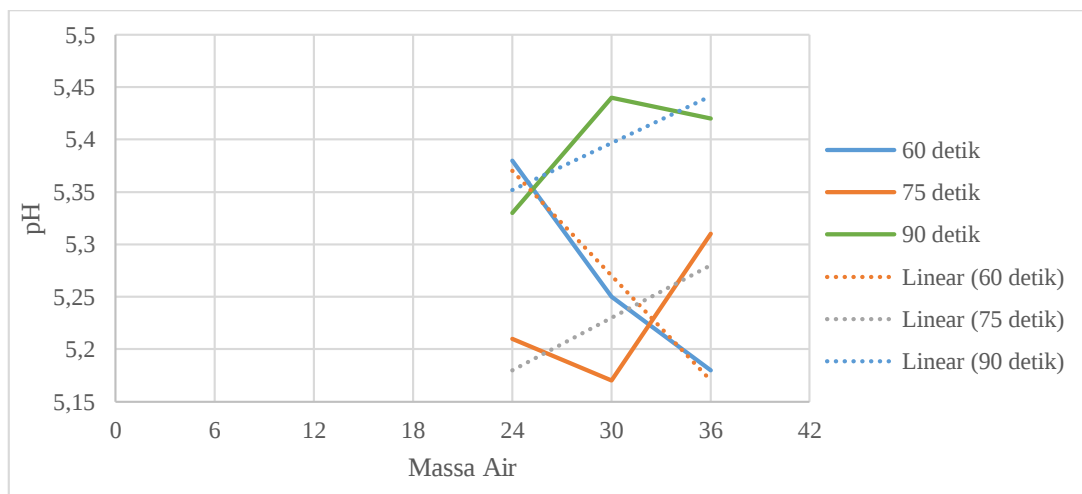
Selain itu penentuan nilai TDS dan EC pada penyeduhan kopi sangat berpengaruh, sehingga perlu dilakukan pengujian dari TDS dan EC. TDS (*Total Dissolved Solids*) atau dapat diartikan sebagai “padatan terlarut”. TDS merupakan jumlah padatan yang berasal dari material- material terlarut yang dapat melewati filter yang lebih kecil daripada 2 μm (Djuhariningrum, 2005). Pengujian TDS dilakukan untuk mengetahui jumlah kandungan zat larut yang ada pada air, seperti mineral, garam, dan lainnya. Hal ini dapat berpengaruh pada rasa yang dihasilkan dari penyeduhan kopi dengan dilihat dari pengaruh faktor massa air dan waktu blooming. Sedangkan untuk EC (Electrical Conductivity) atau dapat diartikan sebagai konduktivitas listrik. Konduktivitas listrik adalah ukuran kemampuan suatu larutan untuk menghantarkan arus listrik. Arus listrik di dalam larutan dihantarkan oleh ion yang terkandung di dalamnya. Ion memiliki karakteristik tersendiri dalam menghantarkan

arus listrik. Maka dari itu nilai konduktivitas listrik hanya menunjukkan konsentrasi ion total dalam larutan (Manalu, 2014).

Semakin besar jumlah padatan terlarut di dalam larutan maka kemungkinan jumlah ion dalam larutan juga akan semakin besar, sehingga nilai konduktivitas listrik juga akan semakin besar. Jadi, di sini dapat dilihat bahwa terdapat hubungan antara jumlah zat padat terlarut yang dinyatakan dengan TDS dengan nilai konduktivitas listrik. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Das, R., Ranjan N.S., Kumar P.R., 2005) di Danau Subhas Sarovar dan Rabindra Sarovar, Kolkata, India diketahui bahwa nilai konduktivitas listrik memiliki hubungan yang linier dengan TDS. Dari penelitian tersebut teramati bahwa nilai konduktivitas listrik meningkat seiring dengan meningkatnya nilai TDS yang menunjukkan peningkatan konsentrasi sulfat dan ion lainnya.

3.1. Pengaruh Waktu *Blooming* terhadap pH

Pada penelitian ini didapatkan hasil pada variasi waktu blooming 60 detik dengan variasi massa air sebanyak 24 gr, 30 gr, dan 36 gr dengan melakukan pengujian pH pada sampel. Didapatkan hasil bahwa semakin banyak air yang digunakan pada waktu blooming selama 60 detik, maka pH yang dihasilkan akan semakin menurun, yang berarti bahwa semakin banyak massa air yang digunakan maka hasil dari penyeduhan kopi nya akan menghasilkan rasa yang semakin asam.



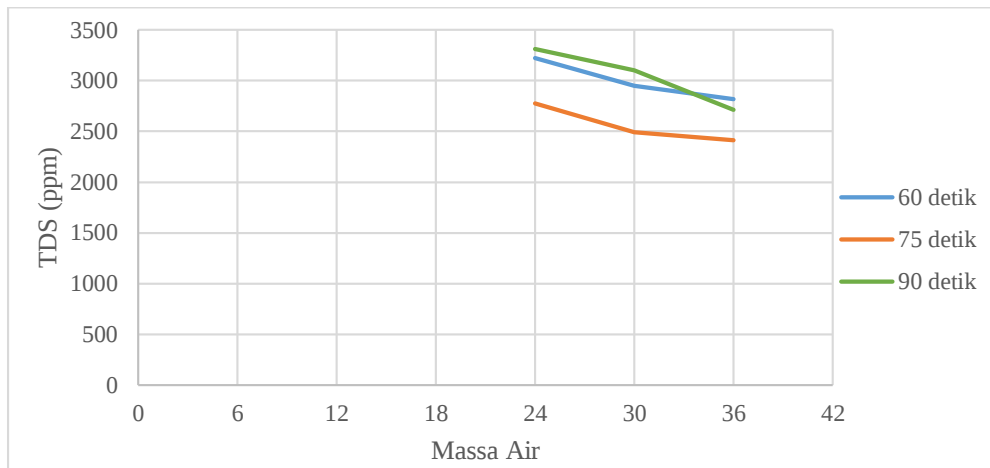
Gambar 3. Grafik Pengaruh pH terhadap Massa Air 24 gram, 30 gram, dan 36 gram pada waktu blooming 60 detik

Dari gambar 3 di atas, terlihat jika pada waktu blooming 60 detik, dengan massa air 30 gram, menghasilkan pH yang paling tinggi. Sedangkan, pada waktu blooming 75 detik, dan massa air 30 gram, akan menghasilkan pH yang paling rendah.

3.2. Pengaruh Waktu *Blooming* terhadap TDS

Pada penelitian ini sampel juga diukur nilai TDS nya dengan waktu *blooming* yang berbeda serta massa air yang berbeda.

Dari gambar 4 terlihat jika nilai TDS paling tinggi didapat ketika massa air 24 gram dan waktu blooming 90 detik. Sedangkan untuk nilai TDS paling kecil didapat ketika massa air 36 gram dan waktu blooming 75 detik.

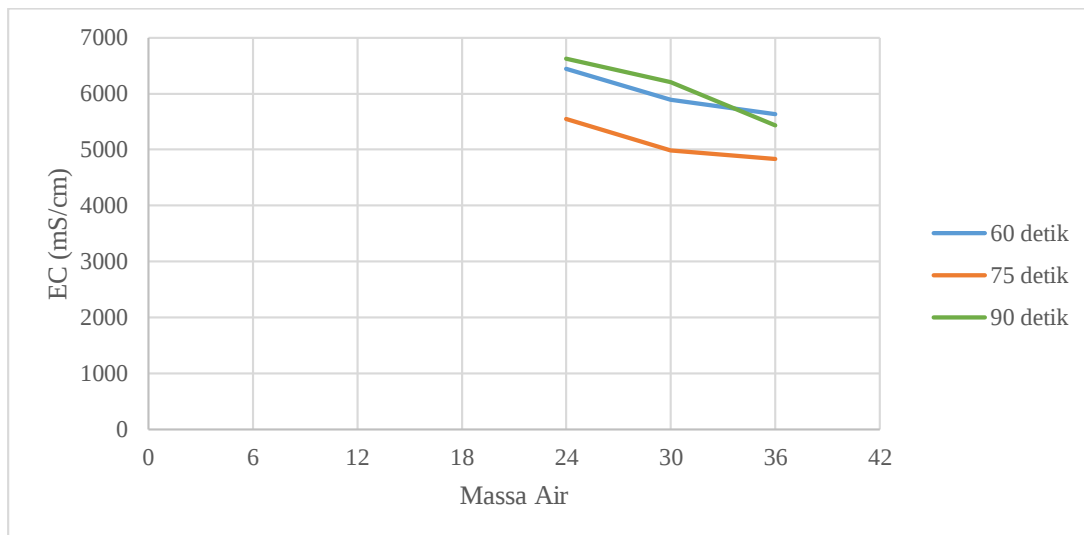


Gambar 4. Grafik Pengaruh TDS terhadap Massa Air 24 gram, 30 gram, dan 36 gram pada waktu blooming 60 detik

3.3. Pengaruh Waktu *Blooming* terhadap EC (*Electrical Conductivity*)

Pada penelitian ini sampel juga diukur nilai EC nya dengan waktu blooming yang berbeda serta massa air yang berbeda.

Dari gambar 5 terlihat jika nilai EC paling tinggi didapat ketika massa air 24 gram dan waktu blooming 90 detik. Sedangkan untuk nilai TDS paling kecil didapat ketika massa air 36 gram dan waktu blooming 75 detik.



Gambar 5. Grafik Pengaruh TDS terhadap Massa Air 24 gram, 30 gram, dan 36 gram pada waktu blooming 60 detik

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Pada waktu blooming 60 detik dengan pengaruh massa air 20 gr, 34 gr, dan 36 gr diperoleh hasil pH yang semakin menurun. Semakin banyak massa air yang digunakan, maka didapatkan nilai pH yang semakin asam. Sedangkan untuk nilai TDS dan EC juga semakin banyak massa air yang digunakan akan semakin turun nilai nya.
2. Pada waktu blooming 75 detik dengan pengaruh massa air 20 gr, 34 gr, dan 36 gr diperoleh hasil pH yang beragam. Didapatkan pH pada massa air 20 gr adalah 5,21; pH pada massa air 34 gr adalah 5,17; dan pada massa air 36 gr adalah 5,31. Sedangkan untuk nilai TDS dan EC juga semakin banyak massa air yang digunakan akan semakin turun nilai nya.
3. Pada waktu blooming 90 detik dengan pengaruh massa air 20 gr, 34 gr, dan 36 gr diperoleh hasil pH yang beragam. Didapatkan pH pada massa air 20 gr adalah 5,33; pH pada massa air 34 gr adalah 5,44; dan pada massa air 36 gr adalah 5,42. Sedangkan untuk nilai TDS dan EC juga semakin banyak massa air yang digunakan akan semakin turun nilai nya.

DAFTAR PUSTAKA

- Angeloni, G., Guerrini, L., Masella, P., Innocenti, M., Bellumori, M., & Parenti, A. 2019. Characterization and comparison of cold brew and cold drip coffee extraction methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(1): 391–399. Tersedia di <https://doi.org/10.1002/jsfa.9200>.
- Asiah, N. 2017. Identifikasi Cita Rasa Sajian Tubruk Kopi Robusta Cibulao Pada Berbagai Suhu Dan Tingkat Kehalusan Penyeduhan. *Barometer*, 2(2).
- Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung 2015. Kabupaten Lampung Barat Dalam Angka. Bandar Lampung.
- Bhara, M. 2009. Pengaruh Pemberian Kopi Dosis Bertingkat Per Oral 30 Hari Terhadap Gambaran Histologi. Universitas Diponegoro.
- Das, R., Ranjan N.S., Kumar P.R., dan M.D. 2005. Environment and Pollution. *Asian Journal of Water*, 3: 143–146.
- Direktorat Jenderal Perkebunan 2017. Kopi. Jakarta: Statistik Perkebunan Indonesia.
- Djuhariningrum, T. 2005. Pusat Pengembangan Geologi Nuklir - Batan. Jakarta.
- Farah, A., Monteiro, M.C., Calado, V., Franca, A.S. & Trugo, L.C. 2006. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. *Food Chemistry*, 98(2): 373–380.
- Hanafi, A.Y. & Sulaiman, M.I. 2018. Perilaku konsumen berdasarkan kelompok gender dan usia pada beberapa formula kopi mix arabika. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian Unsyiah*, 3(4): 785–793.
- Putri, N. 2014. Pengaruh Suhu Dan Lama Penyangraian Terhadap Kadar Kafein Dan Tingkat Keasaman Kopi Varietas Arabika (*Coffea Arabica*). Artikel Ilmiah Teknologi Pangan.
- Samsura, D. 2012. Ngopi Ala Barista. Jakarta: Penebar Plus.

Karakterisasi Edible Film Dari Pati Jagung Dengan Plastisizer Gliserol Dan Filler CMC Sebagai Bahan Pengemas Makanan

Edwin Azwar, Panji Asmara* dan Yuli Darni

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

*E-mail: panjiasmara07071997@gmail.com

Abstrak

Plastik merupakan bahan pengemas makanan yang banyak digunakan karena ekonomis, tetapi keberadaan plastik sangat tidak aman karena memiliki beberapa kelemahan yaitu menyebabkan terjadinya transfer senyawa-senyawa dari degradasi polimer, residu pelarut, dan biopolimerisasi ke bahan pangan sehingga dapat menimbulkan resiko toksis. Penelitian ini bertujuan untuk mengganti penggunaan plastik konvensional dengan plastik yang lebih aman digunakan untuk bahan pengemas yaitu edible film. Edible film itu sendiri dapat diartikan sebagai suatu lapisan tipis yang berfungsi sebagai bahan untuk melapisi makanan ataupun pengemas dimana produk yang dikemas dapat langsung dikonsumsi tanpa harus membuang lapisan filmnya. Dalam penelitian ini dilakukan suatu metode pembuatan edible film yang berasal dari pati jagung dengan menggunakan bahan tambahan berupa CMC yang berfungsi sebagai filler dan juga penggunaan gliserol yang berfungsi sebagai plastisizer dengan suhu gelatinasi pati jagung yaitu 75oC. Dimana berat total dari pati jagung yang digunakan sebanyak 20 gram dengan variasi CMC 1%, 2%, 3%(gr/gr) dan gliserol sebanyak 15 ml. Waktu pengadukan total 30 menit dengan kecepatan pengadukan 380 rpm dan temperatur pengeringan 60oC. Jika ditinjau dari sifat mekanik yang ditunjukkan maka komposisi terbaik didapatkan pada konsentrasi CMC 3% dengan nilai kuat tariknya adalah 0,2555 Mpa, persen pemanjangan 10,6347%, dan modulus young 2,4026 Mpa. Sedangkan untuk hasil uji kelarutan air dan WVTR terbaik didapatkan pada percobaan dengan konsentrasi CMC 2% yaitu sebesar 294,017094% dan 66,9295 gr/m².jam

Kata kunci: Bedible film, CMC, pati jagung

1. Pendahuluan

Dalam kehidupan modern saat ini, manusia tidak bisa lepas dari yang namanya penggunaan plastik. Salah satu contoh penggunaan plastik adalah untuk memenuhi kebutuhan primer manusia, seperti bahan alat makan atau pengemas makanan. Plastik sendiri sangat sering digunakan dan dipilih karena plastik merupakan bahan yang murah, mudah didapat dan tahan lama. Akan tetapi, terdapat zat-zat adiktif di dalam plastik yang mudah terurai dalam lemak dan panas, sehingga apabila terkontaminasi dengan makanan yang masuk ke dalam tubuh, dapat menimbulkan beberapa masalah pada kesehatan yaitu munculnya beberapa penyakit seperti, hepatitis, gangguan sistem saraf, pembengkakan hati, kanker dan memicu depresi. Oleh sebab itu perlu dicari solusi untuk mengatasi masalah tersebut salah satunya adalah mengganti penggunaan plastik

konvensional dengan plastik yang mudah terurai yaitu edible film.

Edible film dapat diartikan sebagai suatu lapisan tipis yang digunakan sebagai media untuk menghalangi oksigen, gas dan kelembaban supaya tidak mengontaminasi objek yang dilapisi. Edible film memiliki beberapa keuntungan untuk digunakan sebagai bahan pengemas makanan karena dapat langsung dikonsumsi dengan produk yang telah dikemas, dapat mengurangi pencemaran lingkungan karena sifatnya yang mudah terdegradasi, dapat meningkatkan sifat organoleptic suatu makanan yang dikemas (aroma, warna, dan rasa) dan lebih praktis digunakan sebagai pengemas suatu produk pangan (Rosida, 2018). Edible film yang terbuat dari tepung maizena (pati jagung) memiliki kandungan yang bernama zein.

Dimana zat yang bernama zein ini memiliki kemampuan yang bagus dalam membentuk film yang kaku, mengkilap, serta memiliki ketahanan terhadap lecet dan lemak (Pomes 1971 dalam Krochta et al.,1994). Jagung (*Zea Mays*) merupakan tanaman yang mudah didapat serta memiliki harga yang relatif. Ketersediaannya pun sangat melimpah karena dapat ditemukan hampir di setiap wilayah yang ada di Indonesia. Komponen penyusun pati jagung itu sendiri terdiri dari 25-30% amilosa dan 70-75% amilopektin (Bayandori dkk, 2009).

Edible film yang berasal dari tanaman karbohidrat kompleks seperti pati jagung(*maizena*) memiliki sifat mekanik yang tidak terlalu bagus sehingga perlu ditambahkan bahan yang dapat memperbaiki sifat mekanik pada Edible film yang dibuat. Untuk memperbaiki sifat mekanik tersebut maka ditambahkan suatu zat yang berfungsi sebagai filler atau serat yaitu CMC. Carboxy Methyl Cellulose (CMC) itu sendiri merupakan selulosa eter yang digunakan sebagai gelasi dengan cara pemanasan dan membentuk film yang sangat baik, hal ini dikarenakan struktur rantai polimer yang panjang dan memiliki berat molekul yang cukup tinggi (Putri, Setiawan, & Anggraini, 2018). CMC memiliki beberapa sifat diantaranya yaitu biodegradable, tidak beracun, dan larut dalam air. CMC dapat menunjukkan sifat gelasi yang artinya dapat berperan sebagai pengental, penstabil, pengikat serta pembentuk tekstur halus dengan tujuan untuk meningkatkan karakteristik mekanis dari edible film yang dibentuk (Hidayat, Mantini, & Sedyawati, 2013).

Menurut Harsini dan Susilowati (2010) selulosa memiliki nilai kuat tarik yang tinggi tetapi film yang dihasilkan cenderung bersifat kaku. Untuk itu ditambahkan suatu Plastisizer yang berfungsi untuk memberikan sifat plastis pada Edible film, mengurangi kerapuhan karena

sifatnya yang kaku, meningkatkan fleksibilitas serta. ketahanan film yang dibuat terutama saat disimpan pada suhu yang relatif rendah. Gliserol merupakan Plastisizer yang efektif untuk digunakan karena memiliki kemampuan yang bagus dalam mengurangi ikatan hidrogen internal pada ikatan intermolekuler. Gliserol berfungsi sebagai Plastisizer karena sifatnya yang tidak mudah menguap serta film yang dihasilkan tidak kaku (Kristiani, 2015).

2. Metode Penelitian

2.1. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Terapan Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dimulai Januari 2022 sampai Mei 2022.

2.2. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan adalah Pati Jagung, Carboxy Methyl Cellulose (CMC) yang digunakan sebagai filler, Gliserol yang digunakan sebagai bahan pemlastis dan Aquades. Sedangkan untuk alat yang digunakan adalah Gelas ukur (1000 ml dan 50 ml), Beaker glass (2000 ml dan 500 ml), Drying oven, Digital balance, Hot plate, Magnetic stirrer, Zipbag lock, Cawan petri, Cetakan, Pipet, Termometer (skala : 1-100oC), Stopwatch dan Desiccator.

2.3. Prosedur Penelitian

Pembuatan edible film dimulai dengan menimbang massa pati jagung sebesar 20 gram yang kemudian ditambahkan air hingga volume 150 ml, kemudian pati dan air dilarutkan dalam beaker glass berisi magnetic stirrer. Setelah itu sampel diaduk menggunakan hot plate dan diatur kecepatan pengadukan 380 rpm selama 10 menit. Ditambahkan gliserol dan diaduk 5 menit. Ditambahkan CMC dan diaduk 5 menit. Kemudian hot plate diatur suhunya pada temperatur 75°C selama 10 menit sambil dilakukan pengadukan setelah itu larutan

kemudian dituang ke cetakan dan didiamkan hingga suhu ruangan selanjutnya dimasukan di dalam oven untuk dikeringkan dengan temperatur $T=60^{\circ}\text{C}$ selama 8 jam. Setelah dikeringkan kemudian edible film dimasukan ke dalam desikator. Setelah itu edible film dilepas dari cetakan kemudian di simpan dalam zip lock. Edible film siap untuk dianalisis sifat fisis dan mekanik.

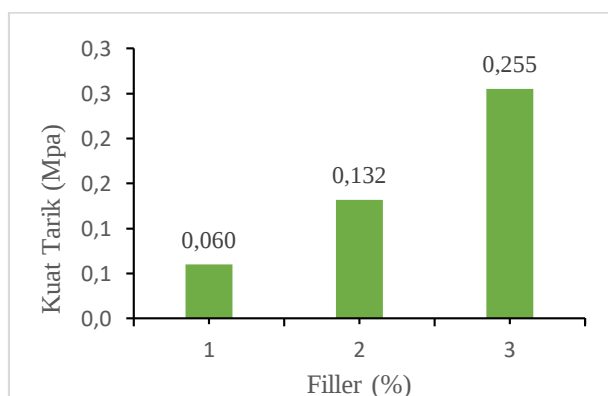
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Sifat Fisik

Kekuatan mekanik suatu bahan dapat diketahui dengan melakukan pengujian tarik statis dengan menggunakan sebuah alat yaitu Universal Testing Machine. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan beban secara perlahan sampai bahan mengalami putus. Pada penelitian ini sifat mekanik bahan ditentukan melalui kekuatan tarik, persen pemanjangan dan modulus young.

a. Kekuatan Tarik

Uji Tarik (Tensile Test) adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan (tensile strength) suatu material/bahan dengan cara memberikan beban (gaya statis) yang sesumbu dan diberikan secara lambat atau cepat. Hasil uji tarik dapat dilihat dari gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh Konsentrasi CMC terhadap nilai kuat tarik *Edible Film*

Gambar 1 menunjukkan dengan jelas bahwa semakin tinggi konsentrasi CMC yang

digunakan maka semakin tinggi pula nilai kuat tarik sampel tersebut. Hal tersebut sesuai dengan hipotesis awal yang telah dibuat dimana kandungan CMC akan meningkatkan sifat mekanik bioplastik yang dibuat dalam hal ini adalah bertambahnya nilai kuat tarik. CMC yang berfungsi sebagai serat (selulosa) memiliki harga yang relative murah dan dapat digunakan sebagai bahan pengisi pada bioplastik yang dibuat, namun pada penelitian ini nilai kuat tarik maksimal yang dihasilkan adalah 0,2551227 Mpa pada run 3 dengan konsentrasi CMC tertinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai kuat tarik bioplastik yang dibuat masih berada dibawah standar dari JIS dimana untuk standar nilai kuat tarik yang diharapkan adalah 0,39 Mpa. Adapun faktor yang menyebabkan nilai kuat tarik yang dihasilkan berada di bawah standar yang diharapkan adalah karena kurangnya jumlah konsentrasi bahan pengisi yang digunakan di dalam sampel, hal ini menyebabkan struktur penyusun serat di dalam bioplastik menjadi kurang kuat dan kompak.

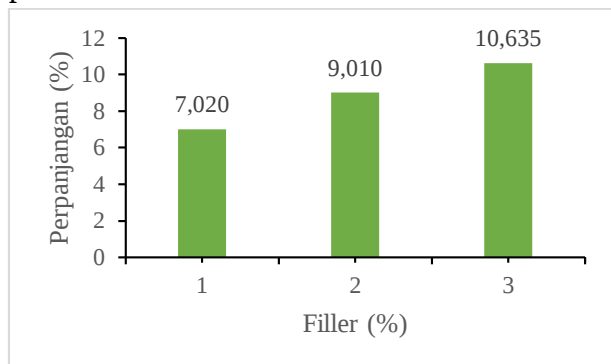
b. Perpanjangan

Proses perpanjangan terjadi pada saat sampel ditarik dari keadaan awal hingga terjadinya proses pemutusan. Untuk mendapatkan nilai perpanjangan kita dapat menggunakan suatu persamaan yaitu

$$\epsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Hasil perpanjangan dapat dilihat dari Gambar 2. Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai persen pemanjangan tertinggi didapatkan pada sampel bioplastik dengan kandungan CMC 3% dengan nilai 10,63468%, nilai tersebut ternyata masih jauh dari standar yang diharapkan yaitu sebesar 70 %. Untuk meningkatkan standar tersebut peneliti dapat menambahkan jumlah konsentrasi gliserol yang berfungsi sebagai plastisizer sehingga diharapkan dapat meningkatkan kualitas dari

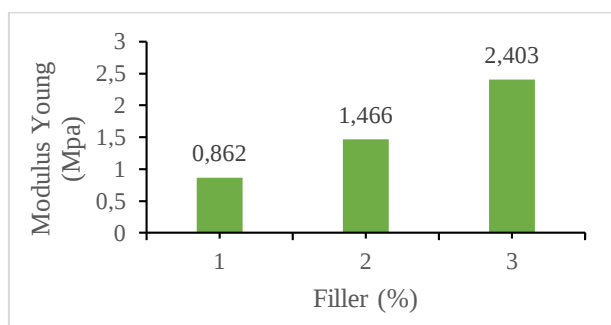
persen pemanjangannya. Dari gambar diatas juga menegaskan bahwa penambahan CMC sebagai filler ternyata menmpengaruhi nilai persen pemanjangan dari bioplastik yang terbentuk sehingga nilai perpanjangan berbanding lurus dengan nilai kuat tarik pada penelitian ini.



Gambar 2 Pengaruh Konsentrasi CMC terhadap Pemanjangan *Edible Film*

c. Modulus Young

Untuk mengetahui seberapa kaku bioplastik yang dibuat dapat dilihat dari nilai modulus young yang terbaca. Oleh karena itu semakin tinggi nilainya maka semakin kaku pula bioplastik yang dihasilkan dari penelitian ini. Untuk mendapatkan nilai modulus young peneliti dapat melakukan perbandingan antara nilai kuat tarik dan juga nilai persen pemanjangan dari bioplastik tersebut. Hasil perpanjangan dapat dilihat dari Gambar 3



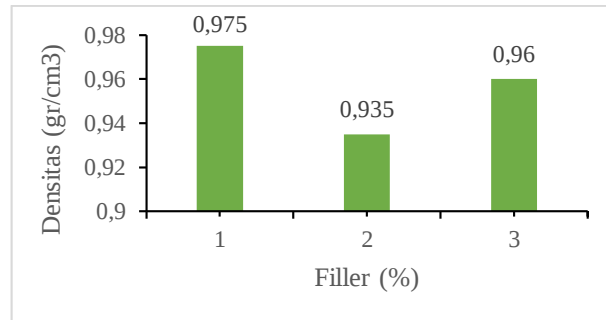
Gambar 3 Pengaruh Konsentrasi CMC terhadap nilai *modulus young*

Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai modulus young terbesar didapatkan pada percobaan dengan konsentrasi CMC 3% yaitu 2,40263 Mpa. Sama seperti hasil uji sebelumnya dimana

nilai ini masih berada di bawah standar yang telah ditetapkan yaitu pada range 4-10 Mpa. Modulus young merupakan refleksi dari nilai kuat tarik dan persen pemanjangan maka untuk menambahkan nilainya peneliti perlu memperbaiki formulasi dari sampel bioplastik yang dibuat baik menambahkan jumlah CMC yang berfungsi sebagai serat, jumlah pati yang berfungsi sebagai matriks maupun jumlah gliserol yang berfungsi sebagai zat pemlastis berdasarkan referensi dari jurnal-jurnal yang berkaitan dengan penelitian tentang bioplastik.

d. Uji Densitas

Densitas memberikan gambaran mengenai kerapatan suatu sampel yang menempati suatu volume tertentu. Pada edible film densitas berperan sebagai barrier pelindung untuk mencegah terjadinya migrasi uap air sehingga mampu menjaga keawetan suatu bahan yang diselimuti. Hasil uji densitas dapat dilihat pada gambar 4.

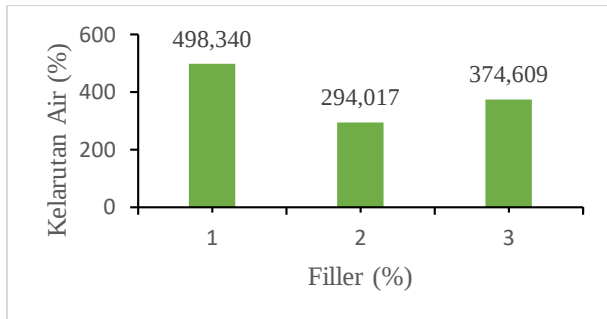


Gambar 4 Hasil Uji Densitas

Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan selulosa maka semakin kecil nilai densitas yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan pati di dalam edible film memiliki pengaruh yang lebih besar dalam menentukan nilai densitas dikarenakan pati mampu menyerap air. Adapun hasil terbaik yang memnuhi standar JIS adalah pada konsentrasi CMC 2% yaitu senilai 0,935 gr/cm3. Nilai densitas yang tinggi menunjukkan bahwa ruang antar molekul saling berdekatan sehingga udara tidak memiliki ruang disana.

e. Uji Kelarutan Air

Uji ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan edible film dalam menyerap air. Pada penelitian ini daya serap edible film diharapkan seminim mungkin supaya mampu menjaga kualitas bahan yang diselimuti. Hasil uji kelarutan air dapat dilihat pada gambar 5

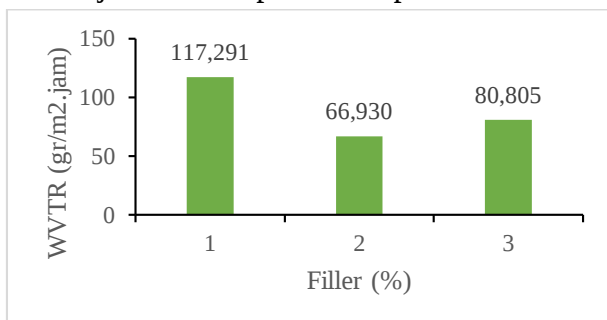


Gambar 5. Hasil Uji Kelarutan Air

Dari Gambar 5 dapat kita lihat bahwa hasil terbaik berada pada konsentrasi CMC 2 % dengan nilai 294,017094%. Nilai ini masih terlalu tinggi dikarenakan sampel terbuat dari bahan pati yang bersifat hidrofilik sehingga mudah menyerap air. Selain kandungan pati, gliserol juga memiliki kandungan gugus fungsi OH- yang bersifat hidrofilik juga.

f. Uji WVTR

Uji ini dilakukan untuk mengukur seberapa besar laju transmisi uap air yang terjadi, sehingga peneliti dapat memperkirakan berapa lama waktu yang diperlukan untuk menyimpan suatu produk. Semakin kecil nilainya maka semakin panjang daya simpan produk tersebut. Hasil uji WVTR dapat dilihat pada Gambar 6.

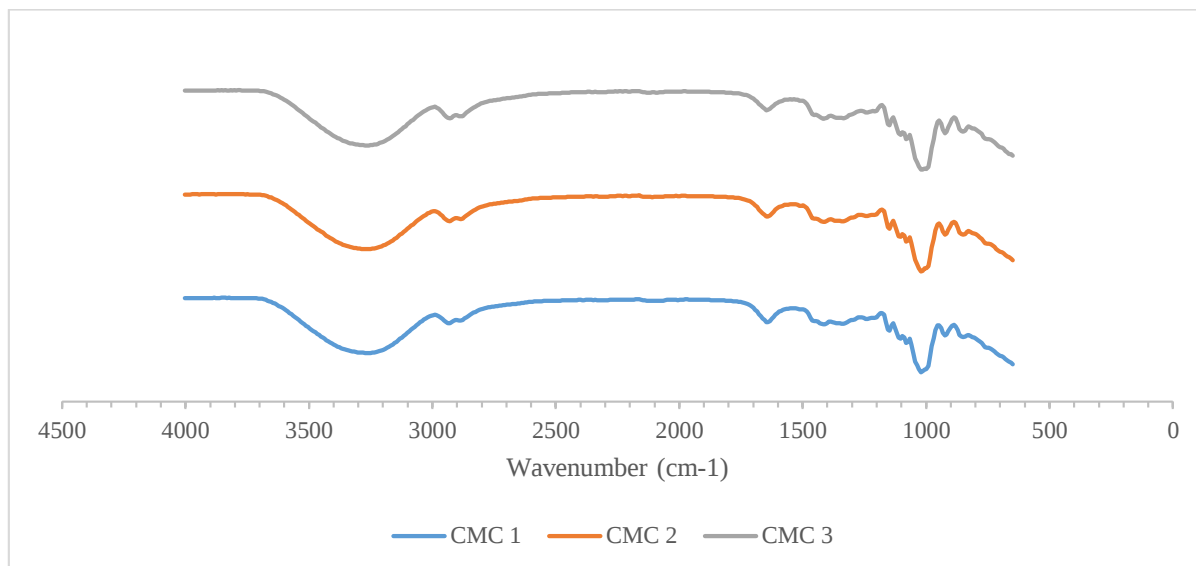


Gambar 6. Hasil Uji WVTR

Dari Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai WVTR terbaik didapatkan pada konsentrasi CMC 2 % yaitu sebesar 66,9295 gr/m2.jam. Nilai tersebut masih terlampaui tinggi dari standar yang diharapkan yaitu sebesar 3,514-7,133 gr/m2.jam. Hal ini terjadi dikarenakan sifat bahan pembentuknya yaitu pati bersifat hidrofilik yang dapat dengan mudah menyerap air. Untuk itu perlu ditambahkan suatu bahan yang bersifat hidrofobik yang mampu menurunkan laju transmisi uap air salah satunya adalah bahan yang berasal dari lipid yaitu asam palmitat. Selain itu, jika ditinjau dari hasil uji densitas maka seharusnya edible film yang dibuat memiliki nilai WVTR yang rendah dikarenakan semakin tinggi nilai densitas maka semakin kecil pula celah yang terbentuk dan hal itu harusnya dapat menghambat laju transmisi uap air. Namun jika ditinjau dari analisis SEM ternyata terdapat celah atau retakan yang muncul dikarenakan formulasi pati yang digunakan kurang bagus.

g. Analisis FTIR

Pengujian analisis FTIR (Fourier Transform Infra-Red) bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang dimiliki oleh bioplastik yang telah dibuat. Selain itu, pengujian ini dapat dilakukan untuk melihat apakah proses pencampuran sampel terjadi secara kimia ataukah secara fisik. Prinsip kerja yang dilakukan oleh alat FTIR adalah terjadinya interaksi antara materi dan energi. Saat alat ini mulai diaktifkan, maka sinar inframerah akan melalui celah hingga menuju ke arah sampel. Celah ini berfungsi sebagai pengontrol jumlah energi yang akan diberikan kepada sampel. Sampel kemudian menyerap beberapa inframerah yang masuk, sedangkan inframerah lain yang tidak terserap akan dipindah melalui permukaan sampel. Tujuannya agar sinar inframerah tersebut bisa lolos hingga ke detektor.



Gambar 7 Perbandingan Hasil Analisis FTIR CMC 1, 2 dan 3 %

Tabel 1. Gugus Fungsi Pati Jagung

Gugus Fungsi	Daerah Serapan	CMC 1	CMC 2	CMC 3
O-H	3200-3650	3265	3265	3265
C-H	2700-3300	2937	2937	2929
C≡C	2100-2260	2102	2109	2124
C=C	1600-1680	1640	1647	1647
O-H	1300-1570	1334	1334	1334
C-O	1000-1300	1021	1021	1021

Sumber : Faqih, 2017

Hasil dari analisis yang telah dilakukan dapat dilihat dari table 3.1. Dimana dari data tersebut memperlihatkan bahwa tidak terjadinya pembentukan gugus fungsi yang baru dari bioplastik yang telah dibuat. Hal tersebut berarti bahwa bioplastik yang telah dibuat merupakan proses pengikatan yang terjadi secara fisik dan bukan terjadi secara kimia. Pada mulanya akan terbentuk ikatan O-H yang muncul karena pati menyerap banyak air dimana terjadi peningkatan intensitas serapan yang tinggi (O-H=3265) hal itu ditunjukkan pada tabel 4.2. Gugus lainnya seperti C-H, C≡C, dan

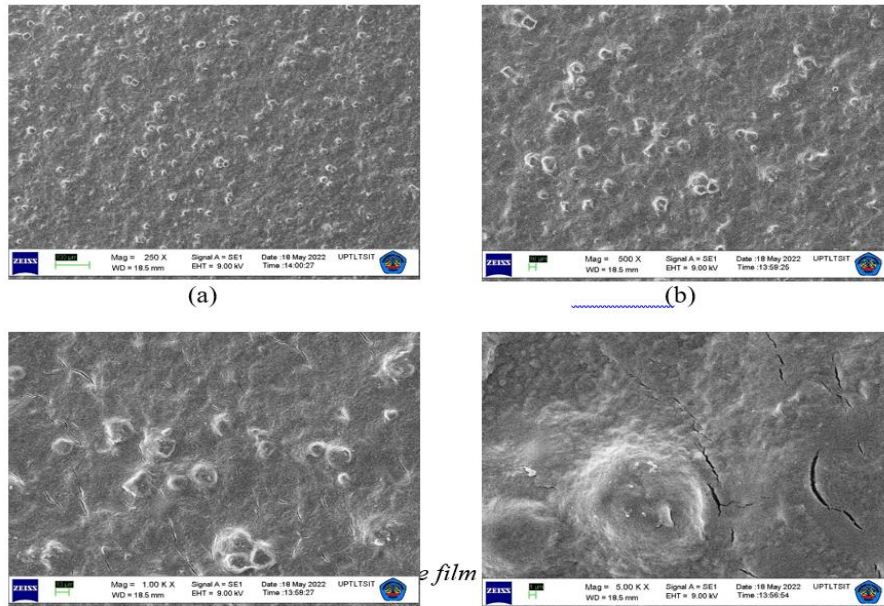
C=C dihasilkan dari gugus pati jagung dan selulosa CMC maka dapat diperhatikan bahwa saat kandungan CMC sebagai selulosa semakin tinggi maka gugus fungsi yang terbentuk nilainya akan bertambah pula terutama pada bagian gugus fungsi C≡C, walaupun penambahan yang terjadi tidak terlalu signifikan. Untuk beberapa gugus fungsi yang memiliki nilai tetap atau sama hal itu terjadi karena kandungan bahan lain seperti gliserol dan pati diberikan perilaku yang sama berdasarkan kuantitasnya (tidak adanya variasi

apapun), sehingga tidak ada perubahan pada nilai gugus fungsinya.

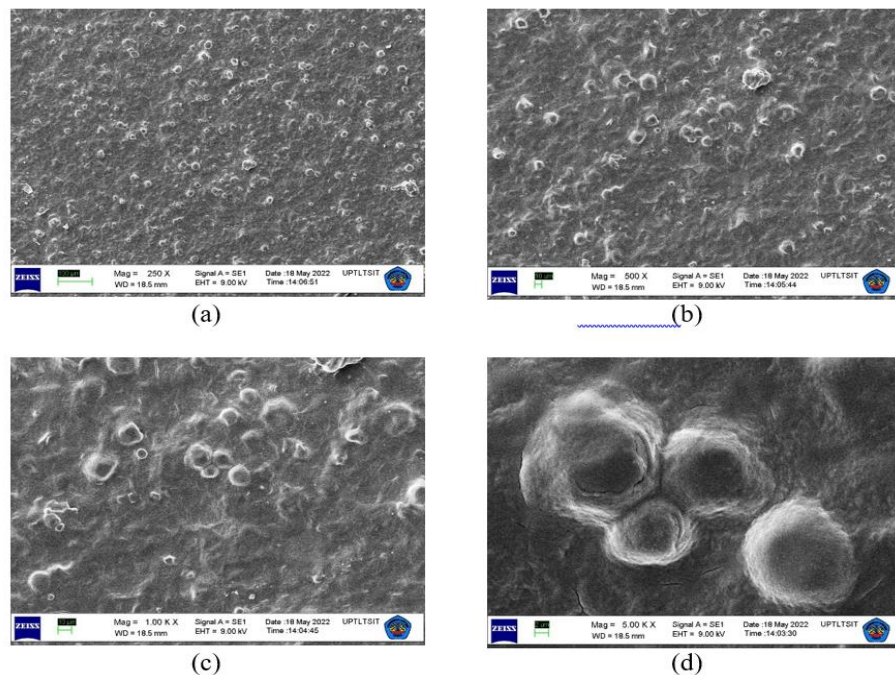
h. Analisis SEM

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui struktur morfologi dari edible film yang dibuat.

Analisis ini dilakukan dengan jarak tembak sampel (WD) tiap sampelnya adalah 18,5 mm dengan perbesaran 250x, 500x, 1000x dan 5000x. Adapun hasil analisisnya adalah sebagai berikut :



Gambar 8. SEM *edible film* dengan konsentrasi CMC 1% dengan perbesaran (a) 250x , (b) 500x, (c) 1000x, (d) 5000x



Gambar 9. SEM *edible film* dengan konsentrasi CMC 2% dengan perbesaran (a) 250x , (b) 500x, (c) 1000x, (d) 5000x

Berdasarkan Gambar 9 dapat kita lihat bahwa edible film yang dihasilkan memiliki morfologi yang hamper mirip dengan Gambar 8 pada perbesaran 250x, 500x dan 1000x. Pada perbesaran 5000x dapat kita lihat bahwa terdapat gelembung yang terbentuk yang menandakan edible film yang dibentuk kurang homogen serta kurangnya jumlah filler yang digunakan.

Kesimpulan

Hasil analisis sifat mekanik terdiri dari perhitungan nilai kuat tarik, persen pemanjangan dan modulus young. Dimana hasil terbaik pada penelitian ini didapatkan pada konsentrasi CMC 3% dengan nilai kuat tarik sebesar 0,25551227 Mpa, persen pemanjangan sebesar 10,63468% dan modulus young sebesar 2,40263 Mpa. Untuk hasil uji kelarutan air dan WVTR terbaik didapatkan pada percobaan dengan konsentrasi CMC 2% yaitu sebesar 294,017094% dan 66,9295 gr/m².jam, dimana nilai tersebut dipengaruhi oleh bahan yang bersifat hidrofilik yaitu mampu menyerap air dengan mudah.

Daftar Pustaka

- Darni, Yuli., & Rakhman, Faqih. Aulia. (2017). *Aplikasi edible film dari rumput laut Eucheumma cottoni dan pati sorgum dengan plasticizer gliserol dan filler CaCO₃ sebagai bahan pembuat cangkang kapsul*. Inovasi Pembangunan: Jurnal Kelitbangan, 5(02), 172-183.
- Estiningtyas, H. R. (2010). Aplikasi edible film maizena dengan penambahan ekstrak jahe sebagai antioksidan alami pada coating sosis sapi.
- Fajarwati, F. I. (2020). Pengaruh Penambahan Asam Palmitat pada Karakteristik Edible Film Dari Tepung Pati Biji Melinjo (*Gnetum gnemon* L.) sebagai Penghambat Laju Transmisi Uap Air.
- Indriyati, I., Indrarti, L., & Rahimi, E. (2019). Pengaruh Carboxymethyl Cellulose (Cmc) Dan Gliserol terhadap Sifat Mekanik Lapisan Tipis Komposit Bakterial Selulosa. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 8(1), 40-44.
- JIS (Japanesse Industrial Standard) 2 1707., 1975, Japanese Standards Association
- Murni, S. W. (2015, April). Pembuatan edible film dari tepung jagung (*Zea Mays* L.) dan kitosan. In *Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan* (pp. 17-1).
- Pavlath, A. E., & Orts, W. (2009). Edible films and coatings: why, what, and how?. In *Edible films and coatings for food applications* (pp. 1-23). Springer, New York, NY.
- Permadi, i. (2019). pengaruh konsentrasi gliserol dan cmc (carboxy methyl cellulose) terhadap karakteristik biodegradable film dari sabut kelapa muda.
- Putri, D. A., Setiawan, A., & Anggraini, P. D. (2018). Physical Properties of Edible Sorgum Starch Film Added with Carboxymethyl Cellulose. *Journal Of Physical Science*, 29, 185-194.
- Ramadhani, F. (2013). Pembuatan dan Karakteristik Komposit yang Terdiri dari Campuran Polietilen Densitas Rendah (LDPE) dengan Pengisi Bentonit Alam.

Winarti, C. (2012). Teknologi produksi dan aplikasi pengemas edible antimikroba berbasis pati.

Zahra, H. (2020). Pembuatan Edible Film Berbasis Pati Jagung dengan Menggunakan Variasi Gliserol Sebagai Plasticizer. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian, Volume 5, Nomor 1, Februari 2020*, 511-520.

Rancang Bangun Prototipe Turbin Archimedes Untuk Tangki Air Perumahan Dengan Formulasi Chris Rorres

Candra Bagus Prasetyo*, Gian Villany Golwa, Tony Indra Kusuma, Maulana Abdul Jabar

Universitas Mercu Buana, Jakarta, Indonesia Meruya Selatan no. 01 Kembangan-Jakarta Barat 11650

E-mail: Candrap37@gmail.com

Abstrak

Rancang bangun prototype Turbin Archimedes dilakukan untuk dapat memaksimalkan energi potensial dari tangki penampungan air untuk dijadikan sebagai pembangkit listrik skala piko hidro. Jumlah sudu dan kisar ulir pada turbin ulir dijadikan sebagai Parameter internal, sedangkan radius luar turbin, panjang turbin dan kemiringan poros turbin dijadikan sebagai Parameter eksternalnya. Kedua parameter tersebut merupakan bentuk geometri dari turbin ulir. Debit dan head biasanya digunakan untuk menentukan Parameter eksternal. Diharapkan penelitian dari Rancang Bangun Turbin Archimedes skala laboratorium ini dapat dijadikan sebagai study eksperimental untuk pembuatan pembangkit listrik piko hidro. Bentuk geometri dari turbin ulir tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan formulasi dari Chris Rorres. Hasil rancang bangun prototipe turbin Archimedes memiliki spesifikasi: konstruksi rotor memiliki 1 buah sudu ulir, kisar ulir 29,28 mm, radius sudu luar (R_o) 101,6 mm dan radius sudu dalam (R_i) 54 mm. kisar ulir sebesar 29,28mm, jumlah kisar sebanyak 12,06 dan kemiringan turbin efektif yaitu sebesar 35° .

Keywords: : archimedes screw, picohydro, sudut kemiringan, head rendah, desain dan pembuatan.

1. PENDAHULUAN

Indonesia sesungguhnya memiliki potensi sumber energi terbarukan dalam jumlah besar. Beberapa diantaranya bisa segera diterapkan di tanah air, seperti: bioethanol sebagai pengganti bensin, biodiesel untuk pengganti solar, tenaga panas bumi, mikrohidro, tenaga surya, tenaga angin, bahkan sampah atau limbah pun bisa digunakan untuk membangkitkan listrik. Hampir semua sumber energi tersebut sudah dicoba diterapkan dalam skala kecil di tanah air (Abubakar, 2007)

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam segala aktifitas manusia seperti halnya dalam bidang industri, penggunaan alat-alat elektronik, transportasi, dan lain sebagainya. Konsumsi energi akhir di Indonesia didominasi oleh minyak, diikuti oleh gas, batubara.

Dengan pertumbuhan konsumsi yang cepat, diperkirakan bahwa tanpa sumber daya energi yang baru dan upaya efisiensi energi, Indonesia dapat menjadi importir

minyak murni dalam waktu dekat. Salah satu cara untuk mengatasi hal ini adalah dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan yaitu energi air, energi matahari, energi angin, dan energi biomassa. (I, Antonius, & Lie, 2018)

Salah satu sumber energi terbarukan yang sangat berpotensi di Indonesia adalah pemanfaatan energi air. Pembangkit listrik energi terbarukan dengan memanfaatkan energi air ini bisa dibuat dalam skala besar maupun kecil. Tenaga air skala kecil merupakan salah satu energi baru terbarukan atau sering disebut dengan mikro hidro atau disebut juga Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ataupun Piko Hidro (dalam skala yang lebih kecil yaitu kurang dari 5 kw) (I, Antonius, & Lie, 2018).

Salah satu cara untuk ikut dalam mengatasi hal ini adalah dengan cara memanfaatkan Energi Potensial Tangki air pada penampungan air perumahan. Yang pada umumnya memiliki ketinggian antara 3 hingga 5 meter. Tangki air dijadikan

sebagai topik penelitian karena energi potensialnya yang dimana fluida air yang mengalir dapat memutar turbin. Kemudian putaran dari turbin tersebut dihubungkan ke generator untuk dijadikan sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro.

Menara air atau tangki air merupakan sebuah bak penyimpanan air yang ditinggikan dan dibangun untuk menampung persediaan air pada ketinggian yang cukup untuk memberi tekanan pada sistem distribusi air. Pemberian tekanan terjadi melalui peninggian air; untuk setiap ketinggian 10,20 cm (4,016 inch), air memberi tekanan sebesar 1 kpa (0,145 psi). Menara air dapat memasok air bahkan ketika listrik padam, karena mereka bergantung pada tekanan yang dihasilkan oleh ketinggian air. Tinggi menara memberikan tekanan hidrostatik untuk mengalirkan air ke pengguna (Yonasdi & Ronny, 2019).

Maka dari itu diperlukan Desain dan perancangan serta analisa lebih lanjut terhadap pemilihan jenis turbin air dan dimensi dari turbin air tersebut untuk memaksimalkan daya energi potensial yang terdapat pada Tangki air perumahan.

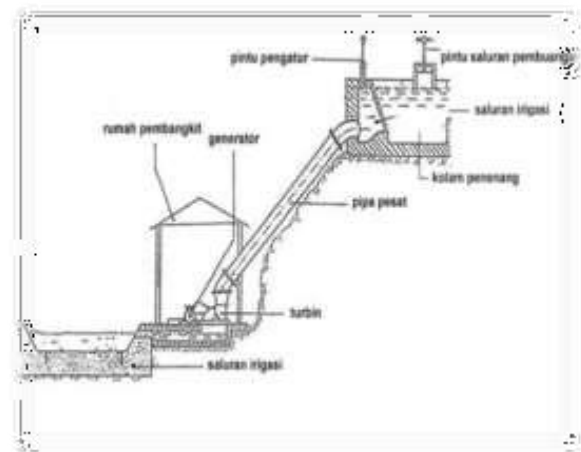
Tujuan dari penelitian ini adalah dapat merancang dan mendisain prototipe turbin air Archimedes atau turbin ulir dengan daya kurang dari 5 kw. Dan dapat membuat turbin ulir dengan skala laboratorium atau prototipe dengan spesifikasi head 25 cm dan tinggi tangki air 120 cm.

Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro

Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro merupakan istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air. Kondisi air yang dimanfaatkan sebagai sumber daya (resource) penghasil listrik memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dari instalasi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik (Yogi, Ir. Eddy Sosilo, & Ir. Edi, 2015)

Prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro adalah pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air perdetik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik (Yogi, Ir. Eddy Sosilo, & Ir. Edi, 2015)

Daya yang keluar dari generator dapat diperoleh dari perkalian efisiensi turbin dan generator dengan daya yang keluar secara teoritis. Sebagaimana dapat dipamahi dari rumus tersebut di atas, daya yang dihasilkan adalah hasil kali dari tinggi jatuh dan debit air. Oleh karena itu berhasilnya pembangkitan tenaga air tergantung dari pada usaha untuk mendapatkan tinggi jatuh air dan debit yang besar secara efektif ekonomis. Akan tetapi pada penelitian ini digunakan jenis turbin ulir atau turbin Archimedes yang dapat bekerja pada tinggi jatuhnya air yang rendah dan debit air yang kecil.



Gambar 1. Skema pembangkit listrik tenaga pikohidro

Turbin Air

Turbin air secara umum dapat diartikan sebagai mesin penggerak mula di mana energi fluida kerja yang digunakan langsung memutar roda turbin, fluida kerjanya yaitu berupa air, uap air dan gas. Dengan demikian turbin air dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak mula yang fluida kerjanya adalah air (Arismunandar, 2004)

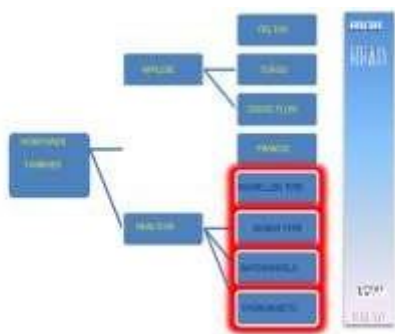
pada roda turbin terdapat sudu yaitu suatu konstruksi lempengan dengan bentuk dan penampang tertentu, air sebagai fluida kerja mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut. Dengan demikian roda turbin akan dapat berputar dan pada sudu akan ada suatu gaya yang bekerja, gaya tersebut akan terjadi karena ada perubahan momentum dari fluida kerja air yang mengalir diantara sudunya. Sudu hendaknya dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat terjadi perubahan momentum pada fluida kerja air tersebut (Arismunandar, 2004)

Ada beberapa kesamaan teori dari turbin air dan pompa air, dengan perbedaan utaman energi transfer yang berkebalikan. Turbin air mengubah energi potensial dari air menjadi energi mekanis putaran poros, sedangkan pompa air mengubah energi mekanis putaran poros menjadi gerak aliran air.

Klasifikasi Turbin

Turbin air diklasifikasikan atas dua kelas yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Pada turbin impuls head efektif diubah menjadi energi kinetik sebelum masuk ke sudu gerak. Daya yang diekstraksi aliran oleh sudu turbin berada pada tekanan atmosfer, sedangkan pada turbin reaksi sudu gerak terendam di dalam air. Sehingga tekanan dan kecepatan air berkurang dari seksi masuk sampai seksi keluar sudu gerak.

Jenis turbin impuls diantaranya yaitu : turbine pelton, turbine turgo, turbine cross flow. Dan jenis turbin reaksi diantaranya yaitu : Turbine propeller, turbine francis, dan satu lagi adalah pompa sebagai turbin.



Gambar 2. Klasifikasi turbin

Pemilihan Jenis Turbin

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis- jenis turbin, Khususnya untuk suatu desain yang sangat spesifik. Pada tahap perencanaan, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan beberapa parameter-parameter yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu :

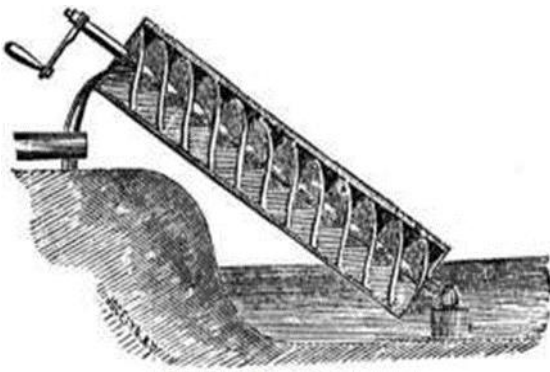
- Faktor tinggi jatuh air efektif dan debit air yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin, sebagai contoh : turbin air Archimedes screw atau turbin ulir efektif untuk operasi pada head (tinggi jatuhnya air) rendah, turbin pelton efektif untuk operasi pada head tinggi, dan turbin cross flow efektif untuk operasi pada head sedang.
- Faktor daya (power) yang diinginkan berkaitan dengan head dan debit yang tersedia.

Kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator.

Turbine Archimedes Screw Atau Turbin Ulir

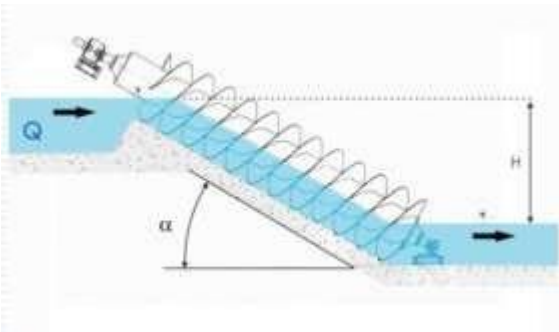
Archimedes screw adalah salah satu mesin tertua yang masih digunakan dan berfungsi mengangkat air untuk irigasi dan drainase. Turbin ulir berasal dari konsep kuno oleh ahli matematika dan fisika Archimedes (287 – 212 SM). Archimedes screw terdiri dari permukaan heliks yang mengelilingi poros silindris pusat di dalam pipa berongga (I, Antonius, & Lie, 2018)

Ketika digunakan sebagai pompa, screw biasanya diputar oleh generator atau tenaga kerja manual. Ketika poros berputar, ujung bawah menggulung volume air yang disebut sebagai ember. Air ini akan meluncur ke dalam tabung spiral saat screw berputar, sampai akhirnya mengalir keluar dari bagian atas screw. Pompa screw digunakan terutama untuk mengalirkan air keluar dari tambang atau area lain dari air yang rendah. Palung yang terbuka dan desain keseluruhan screw memungkinkan lintasan puing tanpa tersumbat (Kathleen, 2017).



Gambar 3. Pompa archimedes

Selain dikenal dengan turbin ulir, sesuai dengankonsep awalnya, turbin ini juga disebut *Archimedes screw*. Turbin ulir lebih cocok dipakai untuk tinggi jatuhnya (*head*) rendah atau beda elevasi antara hulu dan hilir aliran rendah, bahkan nol. Turbin *Archimedes screw* dapat digunakan di situs hidro air rendah sebagai sarana menghasilkan listrik. Ini dilakukan dengan menjalankan *Archimedes screw* secara terbalik, yaitu menjatuhkan air dari atas dan membiarkan screw berputar ketika air turun (I, Antonius, & Lie, 2018)



Gambar 4. Aliran air dalam turbin air

Daya Potensial Air

Pembangkitan daya turbin merupakan bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Daya (power) yang dihasilkan dapat dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$P = \rho \times Q \times h \times g \quad (1)$$

Dimana :

P = daya keluaran secara teoritis (watt) ρ = masa jenis fluida (kg/m^3)

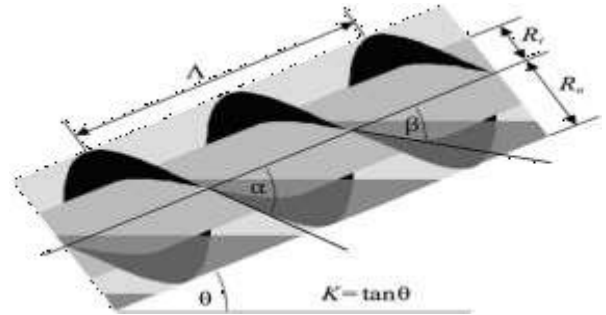
Q = debit air (m^3/s)

h = ketinggian efektif (m)

V = volume air yang masuk (m^3) t = waktu (s)

Dimensi Turbin Ulir

Geometri sebuah turbin maupun pompa ulir Archimedes ditentukan oleh dimensi luar dan dimensi dalam turbin.



Gambar 5. Profil turbin 2 ulir sudu (Chris, 2000)

Gambar 5. Profil turbin 2 ulir sudu (Chris, 2000) Keterangan :

- Ri : jari-jari dalam sudu ulir
- Ro : jari-jari luar sudu turbin
- Λ : kisar ulir sudu turbin
- K : $\tan \theta$
- θ : sudut kemiringan poros turbin
- β : sudut ulir (pada posisi Ri)
- α : Sudut ulir (pada posisi Ro)
- N : Jumlah sudu

Dimensi luar turbin terdiri jari-jari terluar sudu ulir Ro, kisar ulir Λ , dan sudut kemiringan poros θ . Dimensi luar ditentukan oleh lokasi penempatan ulir, material ulir yang akan digunakan dan debit air. Sudut kemiringan poros (θ) turbin umumnya antara 30° sampai 60° (Herman, Halim, Sigit, & Hendi, 2014).

Sedangkan dimensi bagian dalam turbin meliputi jari-jari dalam Ri, jumlah sudu N, dan jarak antar sudu bila $N > 1$. Dimensi dalam turbin bebas dipilih, sehingga pengoptimuman

turbin ulir dapat dilakukan dengan mengubah dan memvariasikannya.

Panjang poros ulir (L) dapat dihitung mengingat hubungan berikut:

$$\frac{L}{H/K} \quad (3)$$

Pada volume maksimum, Diameter dalam R_i^* dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$R_i^* = p^* \cdot R_o \quad (4)$$

Kisar ulir pada volume maksimum dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$\Lambda^* = \frac{\pi \cdot R_o \cdot \lambda^*}{k} \quad (5)$$

Nisbah volume optimum v^* , jari-jari optimum dan nisbah kisar optimum N ditampilkan pada tabel 1

Tabel 1. Parameter ulir archimedes optimum menurut chris rorres

Number of blade N	Optimal radius ratio ρ^*	Optimal pitch ratio λ^*	Optimal volume per-turn ratio $\lambda^* v(N, \rho^*, \lambda^*)$	Optimal volume ratio $v(N, \rho^*, \lambda^*)$
1	0,5358	0,1285	0,0361	0,2811
2	0,5369	0,1863	0,0512	0,2747
3	0,5357	0,2217	0,0598	0,2697
4	0,5353	0,2456	0,0655	0,2667
5	0,5352	0,2630	0,0696	0,2647
6	0,5352	0,2763	0,0727	0,2631
7	0,5354	0,2869	0,0752	0,2619
8	0,5354	0,2957	0,0771	0,2609
9	0,5356	0,3029	0,0788	0,2601
10	0,5356	0,3029	0,0802	0,2592
11	0,5358	0,3145	0,0813	0,2586
12	0,5360	0,3193	0,0824	0,2580
13	0,5360	0,3234	0,0833	0,2574
14	0,5360	0,3270	0,0841	0,2571
15	0,5364	0,3303	0,0848	0,2567
16	0,5362	0,3333	0,0854	0,2562
17	0,5362	0,3364	0,0860	0,2556
18	0,5368	0,3380	0,0865	0,2559
19	-	-	-	-
20	0,5394	0,3953	0,0977	0,2471

Sumber : (Chris, 2000)

Tabel 1 digunakan untuk menentukan rancangan turbin ulir Archimedes pada penelitian ini

Nisbah volume, nisbah jari-jari dan nisbah kisar didefinisikan pada persamaan (6), (7), dan (8) berikut ini :

$$v^* = \frac{V_t}{\pi \cdot R_o \cdot \Lambda} \quad (6)$$

$$\rho^* = \frac{R_i}{R_o} \quad (7)$$

$$\lambda^* = \frac{\Lambda \cdot k}{2 \cdot \pi \cdot R_o} \quad (8)$$

Persamaan (1) sampai dengan persamaan (8) digunakan untuk menentukan dimensi rancangan turbin ulir Archimedes dalam kegiatan penelitian ini. Putaran turbin ulir maksimum (n) maksimal (rpm) dan hubungan antara dimensi kisar Λ dan jari-jari luar sudu R_o untuk berbagai sudut kemiringan turbin dapat dinyatakan dalam persamaan (9),(10) dan (11).

$$\Lambda = 2,4 R_o \text{ untuk } \theta < 30^\circ \quad (9)$$

$$\Lambda = 2,0 R_o \text{ untuk } \theta = 30^\circ \quad (10)$$

$$\Lambda^* = 1,6 R_o \text{ untuk } \theta \quad (11)$$

Jumlah kisar m yang diperkukan pada panjang poros turbin

$$M = L/K \quad (11)$$

3. Metodologi Penelitian

- Pada tahap pertama ini sebelum melakukan penelitian yaitu mencari referensi-referensi dari jurnal-jurnal nasional maupun internasional, buku, internet, maupun dari penelitian-penelitian sebelumnya. Referensi tersebut digunakan untuk memahami dan mendapatkan teori-teori yang berkaitan dengan penelitian ini.
- Setelah itu melakukan observasi dilapangan, hal ini dilakukan untuk melihat berapa tinggi dari tangki air perumahan. Berapa head yang bisa digunakan untuk masukan turbin, serta berapa besar energi potensial yang bisa dimanfaatkan untuk daya bangkitan turbin.

- Kemudian dari hasil studi literatur dan observasi dilapangan tersebut setelah didapatkan data-data baru mulai melakukan perhitungan menggunakan persamaan-persamaan dari Chris Rorres dan penelitian sebelumnya.
- Setelah mendapatkan perhitungan yang sesuai dengan formulasi Chris Rorres baru mulai melakukan Disain gambar di perangkat lunak disain gambar.
- Setelah hasil disain gambar selesai baru ke tahap selanjutnya yaitu penyiapan alat dan bahan.
- Setelah penyiapan alat dan bahan selesai, baru ke proses pembuatan Turbin.
- Setelah proses pembuatan selesai kemudian ketahap pengujian dan pengambilan data, kemudian terakhir pembuatan laporan.

3. Hasil Dan Pembahasan

Hasil rancangan yang telah dibuat berdasarkan potensi sumber energi air yang digunakan yaitu tangki penampungan air perumahan dengan skala laboratorium yang telah dibuat lihat (lihat Gambar 7), adalah sebagai berikut :



Gambar 7. Rancangan alat uji turbin skala laboratorium

Head efektif : 25 cm

Debit air : 0,33 liter/detik

Dengan menggunakan persamaan (2) maka didapatkan daya bangkitan air sebesar 0,80 watt. Dan daya yang dihasilkan kenyataannya akan lebih rendah dari pada daya diatas karena efisiensi turbin ulir dan efisiensi generator listrik.

Untuk sudut kemiringan turbin ulir θ yang dibuat sebesar 35° , pada head 25cm, panjang poros turbin ulir sebesar (L) yang ditetapkan adalah 45 cm yaitu dihitung dari persamaan (2.27). kemudian untuk Diameter dalam turbin ulir Ri pada perancangan dipilih sebesar 101,6cm yaitu diameter dala pipa 4 inci.



Archimedes

Untuk penentuan dimensi sudu turbin ulir ini dipilih jumlah sudu ulir (N) sebanyak 1. Mengacu pada tabel 1 untuk $N=1$ dipilih :

$$\rho^* = 0,5358$$

$$\lambda^* = 0,1285$$

$$v^* = 0,2811$$

Dan didapatkan :

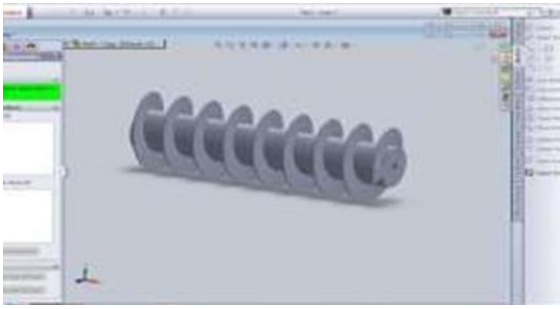
$$\text{Jari-jari luar } R_o = 101,6 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang kisar } \Lambda = 2,92 \text{ cm}$$

$$\text{Jumlah kisar } m = 12,06 \text{ cm}$$

Penentuan Jumlah Sudu

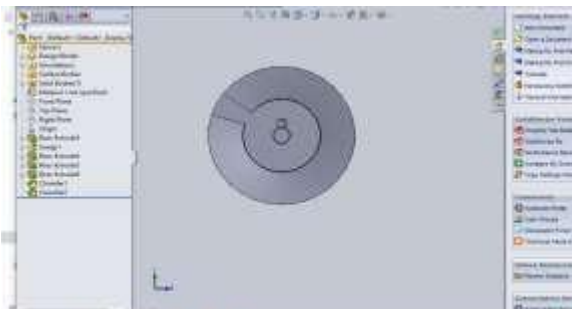
Hasil disain sudu satu ulir menggunakan perangkat lunak disain gambar solidworks. Sudu ditentukan satu bilah sudu ulir, berdasarkan penelitian shaun. dimana disebutkan nilai torsi terbesar terjadi pada jumlah sudu 1 buah terutama pada nilai head yang tertinggi. Menurunnya nilai torsi pada jumlah sudu yang semakin meningkat (dengan panjang poros sama) volume bucket pada sudu yang semakin berkutang, sehingga performa turbin akan semakin menurun seiring bertambahnya sudu (Shaun, 2015).



Gambar 8. Bentuk ulir 1 sudu

Hasil disain sudu satu ulir menggunakan perangkat lunak disain gambar solidworks. Sudu ditentukan satu bilah sudu ulir, berdasarkan penelitian shaun. dimana disebutkan nilai torsi terbesar terjadi pada jumlah sudu 1 buah terutama pada nilai head yang tertinggi. Menurunnya nilai torsi pada jumlah sudu yang semakin meningkat (dengan panjang poros sama) volume bucket pada sudu yang semakin berkurang, sehingga performa turbin akan semakin menurun seiring bertambahnya sudu (Shaun, 2015).

Diameter Dalam dan Diameter Luar

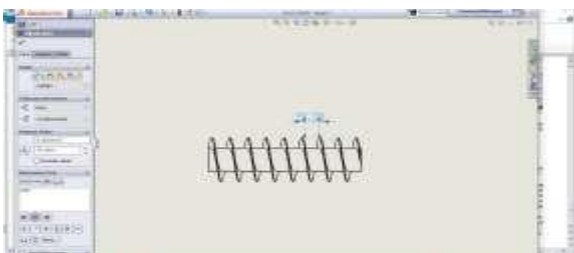


Gambar 9. Bentuk diameter dalam dan luar turbin

Diameter luar ditentukan sebesar 101,6 cm dan diameter dalam diambil dari persamaan (4) sebesar 54,4cm.

Kisar Ulir

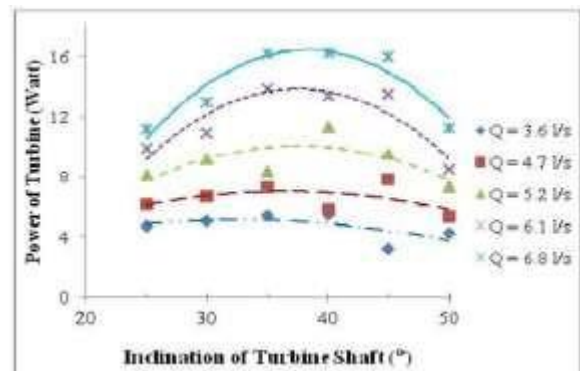
Kisar ulir didapatkan sebesar 2,928mm atau 2,92 cm dari persamaan (5) yaitu jarak antar sudu.



Gambar 10. Kisar ulir

Kemiringan Sudut Turbin

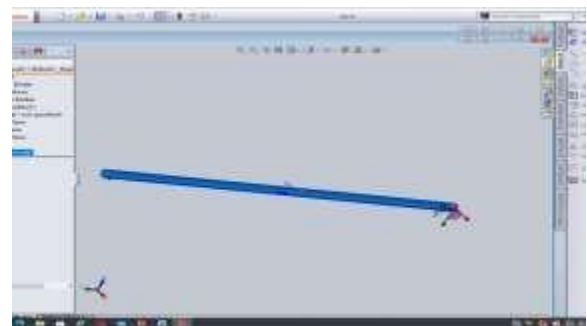
Penentuan kemiringan sudut turbin menggunakan studi literatur yang diambil dari penelitian Yulianto 2017. Pada grafik 1 dijelaskan bahwa pada saat kemiringan sudut kecil (25 sampai 45) aliran debit air menggerakkan blade dengan gaya yang ringan. Sedangkan pada sudut lebih besar (45 sampai 50 derajat) aliran air akan mulai keluar dari jalur kanal. dan ditetapkan sebesar 35 derajat pada penelitian ini.



Gambar 11. Kemiringan sudut turbin

Poros Ulir

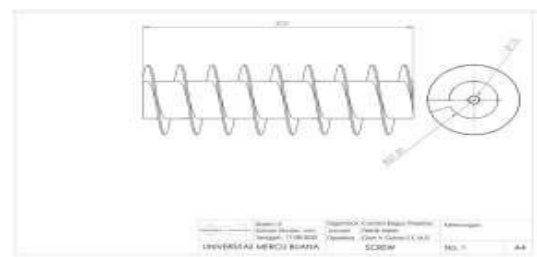
Berdasarkan perhitungan persamaan panjang poros ulir didapatkan sebesar 35,71 cm dan ditambah 9,30cm untuk dudukan bearing dan shaft jadi 45cm. dan diameter shaft 12mm.



Gambar 12. Poros Ulir

Hasil Disain dan Rancang Bangun Turbin Ulir

Gambar 12 merupakan gambar bentuk screw.



Gambar 14. Bnetuk Screw

Pengujian

Proses pengujian dilakukan dengan debit air masukan sebesar 0,33 liter/detik, head 25cm.

Tabel 2. Hasil Pengujian

sudut	Putaran (rpm)	Debit (m ³ /s)	V	Keluaran (output)	
				I (A)	(Watt)
35°	200	0,00033	10,5	0,0123	0,13

Dari persamaan (1) daya bangkitan air didapatkan sebesar 0,80 watt.



Gambar 15. Turbin yang sudah dirakit

4. Kesimpulan

Setelah proses perancangan dan proses pembuatan selesai didapatkan spesifikasi turbin sebagai berikut: panjang rumah turbin 30 cm, diameter luar turbin (Ro) 101,6 cm, diameter dalam turbin (Ri) 54,4 cm, jumlah sudu sebanyak 1 buah, panjang total poros 45 cm dan kisar ulir 2,92 cm. Daya yang dihasilkan dari prototipe turbin ulir ini adalah sebesar 0,13 watt pada sudut kemiringan 35°.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada para dosen universitas mercubuana yang telah memberikan ilmunya untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Bapak Gian Villany Golwa selaku dosen pembimbing, mas tony dan mas maulana yang ikut membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Dan juga teman-teman fakultas teknik mercubuana yang telah memberika dukungan dan semangatnya, serta kedua orangtua yang selalu mendoakan.

Daftar Pustaka

- Abubakar, L. (2007). Energi Terbarukan Dalam Pembangunan Berkelanjutan. Energi Terbarukan, 155-162.
- Arismunandar, W. (2004). Penggerak Mula TURBIN. BANDUNG: ITB.
- Chris, R. (2000). The Turn Of The Screw: Optimal Design Of An Archimedes Screw. Jurnal Hydraulc Engineering, 72-80.
- Herman, B. H., Halim, A., Sigit, Y., & Hendi, R. (2014). Penentuan Dimensi Sudu Turbin dan Sudut Kemiringan Poros Turbin Pada Turbin Ulir Archimedes. Metal Indonesia, 26-33.
- I, G. W., Antonius, I. W., & Lie, J. (2018). Analisa Pengaruh Tekanan Air Terhadap Kinerja PLTMH dengan Menggunakan Turbin Archimedes Screw. Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, 385-392.
- Kathleen, S. (2017). Experimental Analysis Of Archimedes Screw Turbines. Jurnal Thesis, 1-139.
- Nurdin. (2017). Analisis Teknis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Dengan Pembuatan Kolam Tando Studi Kasus Sungai Way Kunyir Menggunakan Jenis Turbin Crossflow. Jurnal Teknik Mesin, 5-12.
- Shaun, W. (2015). Analysing The Performance Of The Archimedes Screw Turbine Within Tidal Range Technologies. Teknik, 1-171.
- Yogi, S., Ir. Eddy Sosilo, M., & Ir. Edi, S. (2015). Perancangan Pico Hydro Portable Type Kincir Air Sebagai Pembangkit Energi Listrik. Teknik Elektro, 1-6.
- Yulianto, Tarmukan, & Bambang, P. (2017). Implementasi Turbin Rotor Sekrup Untuk Aliran Datar . Prosiding Seminar Nasional Teknologi Elektro Terapan , 1-6.
- Yonasdi, A., & Ronny, P. (2019). Jurnal Sipil Statik. Analisa Rangka Batang Struktur Menara Tangki Air Akibat Gempa, 1027-1038.