

SCALE UP DAN PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL *EXPERT* BIOFERMENTOR BIJI KOPI

A. MUSAWWIRUL MUNIR SYASMAR¹, ABDUL WARIS², MAHMUD ACHMAD³

Program Studi Keteknikan Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hadanuddin, Makassar,
Sulawesi Selatan. Indonesia

email : musawwirul.munir96@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v7i1.4982>

Abstrak: Fermentasi biji kopi merupakan salah satu rangkaian proses pasca panen yang dapat mempengaruhi kualitas kopi. Telah dibuat dan di teliti biofermentor dengan kapasitas 1 kg dan hasilnya mampu memberikan mutu yang baik pada biji kopi yang di fermentasi, untuk menghasilkan biofermentor yang lebih besar maka perlu dilakukan penelitian tentang *scale up* biofermentor sampai kapasitas 5 kg. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan biofermentor biji kopi dengan kapasitas 5 kg yang dilengkapi sistem kontrol *expert* dengan kinerja yang sama atau lebih baik dari biofermentor kapasitas 1 kg. Metode penelitian yang digunakan adalah rancang bangun yang dimulai dari perancangan ruang dan wadah fermentasi, kebutuhan energi listrik, sistem kontrol dan *software*, serta dilakukan uji kinerja biofermentor dengan menfermentasi biji kopi sebanyak 5 kg dalam waktu 12 jam dan ulangan dua kali. Selanjutnya dilakukan analisa data yang meliputi uji pH larutan fermentasi, kadar pulp, kadar air, warna biji kopi, pH bubuk kopi dan total asam bubuk kopi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biofermentor dapat bekerja dengan baik ditandai dengan tidak terjadi *overshoot*, *error steady state* kecil dalam range 2-5 %. dan *setting time* pendek 80 menit, suhu stabil disekitar *setting point* (SP) 40°C. Pada pengujian mutu hasil fermentasi menggunakan biofermentor biji kopi menunjukkan bahwa pH larutan fermentasi 5,56, *pulp* yang terlepas 14,54% hampir sama dengan penelitian sebelum di *scale up* yaitu *pulp* yang terlepas 13,3%, kadar air 11,7%, warna biji kopi sebelum di *scale up* notasi L* 31,63 dan setelah di *scale up* L* 31,71, pH bubuk kopi sebelum di *scale up* 5,7 dan setelah di *scale up* 4,93, total asam tertitrisi sebelum di *scale up* 0,23% dan setelah di *scale up* 1,73%.

Kata Kunci: Biofermentor Biji Kopi, *Expert*, Sistem Kendali, Infra Merah, Daya Listrik

Abstract: Coffee bean fermentation is one of a series of post-harvest processes that can affect the quality of coffee. A biofermenter with a capacity of 1 kg has been made and researched and the results are able to provide good quality to the fermented coffee beans. To produce a larger biofermenter, it is necessary to carry out research on *scaling up* the biofermenter to a capacity of 5 kg. This research aims to produce a coffee bean biofermenter with a capacity of 5 kg equipped with an *expert control* system with the same or better performance than a biofermenter with a capacity of 1 kg. The research method used was design, starting from designing the fermentation space and container, electrical energy requirements, control system and *software*, and testing the performance of the biofermenter by fermenting 5 kg of coffee beans within 12 hours and repeated twice. Next, data analysis was carried out which included testing the pH of the fermentation solution, pulp content, water content, color of coffee beans, pH of coffee grounds and total acidity of coffee grounds. The research results show that the biofermenter can work well, characterized by no overshoot, *small steady state error* in the range of 2-5% . and a short *time setting* of 80 minutes, stable temperature around *the setting point* (SP) 40°C. In testing the quality of the fermentation results using a coffee bean biofermenter, it showed that the pH of the fermentation solution was 5.56, the *pulp* released was 14.54%, almost the same as the research before the *scale up*, namely the *pulp* released was 13.3%, the water content was 11.7%, the color of the coffee beans before *scale up* notation L* 31.63 and after *scale up* L* 31.71, pH of coffee grounds before *scale up* 5.7 and after *scale up* 4.93, total acid titrated before *scale up* 0.23% and after *scaling up* 1.73%.

Keywords: Coffee Bean Biofermenter, *Expert*, Control System, Infrared, Electrical Power

A. Pendahuluan

Fermentasi pada kopi merupakan bagian dari proses pengolahan pasca panen dengan metode pengolahan basah yang bertujuan untuk menghilangkan lendir yang masih terdapat dalam biji kopi. Fermentasi berpengaruh pada citarasa kopi yang terbentuk, jika terlalu lama maka akan menyebabkan citarasa yang menyimpang karena *over fermented*, sedangkan jika terlalu cepat akan menyebabkan citarasa yang kurang terbentuk (Gardjito dkk 2011).

Fermentasi cara basah pada tingkat petani masih menggunakan bak atau kolam. Fermentasi tersebut memerlukan waktu cukup lama, suhu tidak dapat dikendalikan, dan rentan terkontaminasi dengan lingkungan sekitar sehingga mutu biji kopi yang dihasilkan petani masih kurang baik. Selain itu, mutu biji kopi yang kurang baik akan berpengaruh pada rendahnya harga jual pada biji kopi. Untuk meningkatkan mutu pada biji kopi, diperlukan pengelolaan yang baik pada petani kopi agar menghasilkan biji kopi yang beraroma dan citarasa yang baik (Ramanda dkk, 2016).

Telah dirancang bangun biofermentor tipe laboratorium (Kapasitas 1kg) oleh Nurhaya Kusmiah dkk tahun 2017 dengan hasil pengamatan, *pulp* dengan menggunakan biofermentor lebih banyak terlepas daripada tanpa menggunakan biofermentor, *pulp* yang berkurang setelah fermentasi disebabkan oleh pemecahan glukosa oleh mikroba, pemecahan komponen ini menandakan bahwa proses fermentasi terjadi dengan sempurna. Pengujian warna $L^*a^*b^*$, menunjukkan bahwa warna biji kopi pada sampel menggunakan biofermentor kendali *fuzzy* digital agak gelap, warna gelap yang dihasilkan ini hampir sama dengan nilai L^* pada biji kopi hasil fermentasi luwak. Pengujian aroma perlakuan fermentasi yang dilakukan dengan menggunakan biofermentor kendali *fuzzy* digital, berpengaruh terhadap aroma kopi seduhan yang dihasilkan, berdasarkan uji organoleptik menunjukkan bahwa fermentasi terkontrol memberikan aroma yang lebih khas dibandingkan dengan proses lainnya.

Dengan kapasitas 1 kg masih kurang untuk memenuhi kebutuhan produksi pada petani kopi. Oleh karena itu biofermentor tersebut perlu diperbesar (*scale-up*) dan penambahan sistem pengaduk yang dilengkapi sistem kendali. untuk meratakan suhu saat fermentasi dengan sistem kontrol yang relatif sederhana dan cukup presisi.

Salah satu sistem kontrol yang sederhana dan presisi adalah sistem kontrol *expert*. Sistem kontrol *expert* adalah Sistem Pakar (*Expert System*) yang dibuat bertujuan untuk menyelesaikan masalah yang cukup rumit yang sebenarnya hanya bisa diselesaikan oleh para ahli.

Berdasarkan uraian diatas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai *scale-up* dan pengembangan sistem kontrol *expert* alat fermentasi biji kopi. Dengan biofermentor yang lebih besar diharapkan mutu biji kopi dapat ditingkatkan dalam skala yang relatif besar.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan biofermentor kopi yang lebih besar dengan kinerja yang sama atau lebih baik dari biofermentor sebelum di *scale-up*.

Kegunaan dari penelitian ini yaitu dapat dijadikan sebagai alternatif alat fermentasi kopi dalam menghasilkan kopi dengan kualitas yang baik, sebagai informasi dalam merancang biofermentor kopi dengan menggunakan pemanas inframerah berbasis *expert*.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Mei hingga Juni 2023. Tempat penelitian dilaksanakan di jalan Al-Kharismi blok Gi/3, Laboratorium Pusat Kegiatan Penelitian, Laboratorium Kimia Pakan Fakultas Peternakan dan Laboratorium Processing Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin.

Pelaksanaan penelitian ini terdiri dari *scale-up* dan perancangan sistem kontrol dan IoT biofermentor. *Scale-up* meliputi penentuan kapasitas biofermentor, menghitung dimensi, menggambar dan merakit. Perancangan sistem kontrol dan IoT meliputi penentuan jumlah input-output, penentuan model sistem, penentuan komponen sistem, membuat gambar, konfigurasi, merakit dan membuat software kontrol dan IoT. Kemudian dilanjutkan dengan uji fungsi dan kinerja, dan pengolahan data. Kapasitas biofermentor yang dibuat pada penelitian ini didasarkan pada biofermentor skala laboratorium yang diteliti Kusmiah (2017). Berdasarkan hasil pengukuran kapasitas biofermentor

skala labolatorium yang digunakan kusmiah adalah 0,0112 m³. *Scale up* yang diterapkan adalah 5 kali kapasitas skala labolatorium, sehingga kapasitasnya adalah 0,056 m³. Dimensi biofermentor dibagi atas 2 yaitu dimensi wadah fermentasi dan ruang fermentasi. Dimensi wadah fermentasi adalah sama dengan kapasitasnya yaitu 0,056 m³. Sedangkan ukuran dimensi ruang fermentasi yang dibangun adalah 10 kali dari wadah fermentasi yaitu 0,56 m³. Penetapan 10 kali bertujuan untuk menyiapkan ruang pemanas karena lampu butuh jarak 0,1-0,2 m dan tinggi lampu 0,17 m, ruang sistem kontrol dan juga untuk mempermudah pengembangan biofermentor dikemudian hari.

Biji kopi sebanyak 5 kg akan dipanaskan mulai dari suhu 28 °C hingga 40 °C. Berdasarkan perhitungan lampiran 1 yang telah dilakukan, diperoleh hasil bahwa untuk menaikkan panas 5 kg biji kopi diperlukan energi sebesar 143820 Joule dan untuk menaikkan panas air 10 kg maka diperlukan energi sebesar 502800 Joule. Daya yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 5 kg biji kopi dan air 10 kg dari suhu mula-mula 28 °C sampai 40 °C dalam jangka waktu 80 menit atau 4800 detik yaitu 133 Watt.

Uji fungsi dilakukan untuk mengetahui apakah komponen utama telah berjalan dengan baik. Untuk mengetahui tingkat keberhasilan maka parameter pengujian yang diamati yaitu: Uji tenaga pemanas. Parameter uji adalah *Gain* kriterianya suhu dapat naik melebihi setting point yang akan diterapkan. (suhu biofermentor 40°C), Uji sensor LM35, kriteria uji bahwa dapat mengukur suhu dengan presisi (error +- 0,5°C), Uji pengaduk, kriterianya dimana ketika selisih antara suhu di bagian bawah dan atas adalah lebih besar atau sama dengan 1,5 °C ($T \geq 1,5$ °C) maka pengaduk akan *on* dan ketika selisih antara suhu di bagian bawah dan atas adalah kurang dari atau sama dengan 1 °C ($T \leq 1$ °C) maka pengaduk akan *off*. Uji Kontroler, suhu tidak *overshoot*, *error steady state* kecil, dan stabil, Uji IoT, kriteria ujinya: data dapat tervisualisasi dan tersimpan dalam format excel dalam *thengspeak*, data dalam *thengspeak* sama dengan data yang tampil pada display arduino.

Uji kinerja bertujuan untuk mengetahui apakah kinerja dari sistem yang telah dibuat berjalan sesuai yang diharapkan. Untuk mengukur tingkat keberhasilan digunakan indikator sebagai berikut: Uji Kontroler, suhu stabil, *error steady state* dalam range 2-5%. Setling time cukup pendek, Mengamati Daya dan energi yang dikonsumsi sistem, Pengamatan pH Larutan biji kopi diamati perubahan pH sebelum dan setelah fermentasi, dimana pengujian dilakukan dengan menggunakan alat PH-009(I)A *pen type pH meter*. Pengamatan dilakukan dengan mencelupkan alat pH meter pada larutan fermentasi kemudian mencatat hasil yang ditampilkan pada layar, Kadar Lendir Analisis berat lendir dilakukan untuk mengetahui jumlah lendir yang berkurang setelah diberikan perlakuan fermentasi. Analisis dilakukan dengan menimbang berat awal biji kopi, kemudian menimbang berat akhir biji kopi setelah proses fermentasi, setelah itu dilakukan perhitungan selisih dari kedua berat biji kopi tersebut, sehingga diperoleh berat lendir yang terlepas selama proses fermentasi. Ditentukan dengan persamaan (Widyotomo dkk, 2009):

$$Kl = \frac{Mi - Mt}{Mi} \times 100\%$$

Keterangan:

Kl= Kadar Lendir (%),

Mi= Berat biji kopi berkualitas sebelum fermentasi (g)

Mt= Berat biji kopi berkualitas setelah fermentasi pada waktu ke-t (g).

Uji Mutu

Pengeringan biji kopi setelah difermentasi dilakukan menggunakan mesin pengering hingga kadar air penyimpanan biji kopi (12 %). Pengeringan biji kopi yang difermentasi dengan biofermentor dan cara konvensional dilakukan pada waktu dan lama yang sama, Uji Kadar Air Kadar air biji kopi ditentukan dengan menggunakan metode gravimetri, pengeringan oven yang terkontrol pada suhu 105 °C, dan perhitungannya dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (BSN, 2008):

$$Ka = \frac{Wi - Wt}{Wi} \times 100\%$$

Keterangan:

Ka = Kadar Air (%),

Wi = Berat Awal Biji (g),

Wt = Berat biji pada waktu ke-t (g)

Uji warna biji kopi Pengujian warna biji kopi hasil sangrai menggunakan colorimeter. Biji kopi yang telah disangrai dimasukkan di dalam wadah kemudian ditambahkan colorimeter pada biji kopi sehingga akan terbaca komponen warna $L^*a^*b^*$. Perubahan warna yang terjadi dihitung menggunakan metode Commission Internationale de l'Eclairage [CIE $L^*a^*b^*$] dengan rumus:

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

Keterangan:

ΔE^* = Perubahan warna

L^* = Chroma / intensitas warna

a^* = Mendeskripsikan aksis dari warna hijau- merah, hijau jika nilai a turun, merah jika a naik.

b^* = Mendeskripsikan aksis dari warna biru-kuning, biru jika nilai b turun, kuning jika b naik.

Penyangraian dan Penggilingan Biji Kopi Penyangraian biji kopi dilakukan dengan menggunakan alat penyangrai kopi tipe Lab, dimana suhu sangrai yang digunakan yaitu 190 °C selama 20 menit, hingga menghasilkan warna coklat kehitaman. Biji kopi yang telah disangrai kemudian digiling untuk menghasilkan bubuk kopi yang kemudian akan dilakukan uji kualitas produk. Pengujian pH kopi Menurut Day dan Underwood (2002), pH didefinisikan sebagai logaritma aktivitas ion hidrogen (H^+) yang terlarut. Pengujian pH larutan dilakukan dengan menggunakan alat PH-009(I)A pen type pH meter.

Alat: Gelas ukur, Pengaduk, Timbangan, pH meter Bahan: Bubuk Kopi, Akuades

Langkah kerja:

- Melakukan kalibrasi alat menggunakan bubuk kalibrasi
- Melarutkan 9 gr bubuk kopi dengan air 200ml
- Mencelupan elektroda pada larutan kopi dengan kedalaman sekitar 5 cm hingga alat menunjukkan pH yang tetap
- Mencatat hasil pembacaan skala atau angka pada tampilan dari pH meter.

Analisis Total Asam Titrasi metode acidialkalimetri (Fardiaz, 1992)

Total asam tertitrasi (TAT) merupakan salah satu indikator terjadinya fermentasi yang dinyatakan dalam persen asam laktat (Fauzi, 2008).

Alat: Labu takar, Gelas Ukur, Batang pengaduk, Timbangan, Saringan Bahan: Kopi bubuk, Aquades, Fenolplatein, NaOH Langkah Kerja:

- Mengambil 5 gr sampel bubuk kopi
- Dilarutkan dengan menggunakan aquadest 50 ml
- Disaring dengan menggunakan kain sifon.
- Sampel yang telah disaring dimasukkan ke dalam labu takar 100 ml dan diencerkan ke dalam aquades. Sampel yang diencerkan diambil sebanyak 5 ml
- Ditambahkan 2 tetes fenolplatein 1%
- Titration dilakukan dengan menggunakan larutan NaOH 0,01N sampai timbul menjadi warna merah muda. perhitungan total asam dapat digunakan rumus seperti dibawah ini:

$$\text{Total Asam} = \frac{MI \text{ NaOH} \times N \text{ NaOH} \times BM \times FP}{gr \text{ Sampel} \times 1000} \times 100\%$$

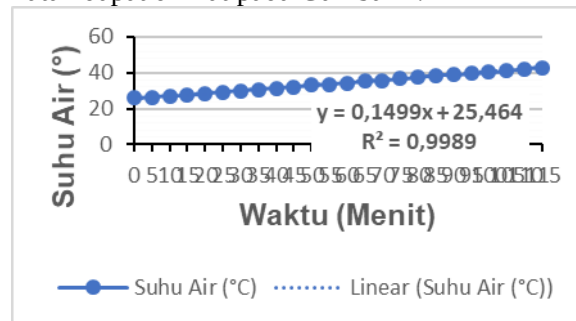
C. Hasil Dan Pembahasan

Uji fungsional

Uji fungsional dilakukan untuk mengetahui apakah bahagian utama biofermentor dapat berfungsi sesuai dengan fungsi yang diharapkan atau belum. Bagian yang diuji adalah fungsi tenaga pemanas tanpa sistem kendali, uji pengaduk, uji kontroler dan uji IoT.

Uji Fungsi Tenaga Pemanas

Uji fungsional pemanas IR dilakukan untuk mengetahui apakah sumber panas dapat menaikkan suhu melebihi *setting point* yang akan diharapkan atau belum, untuk itu dilakukan uji fungsi tenaga pemanas tanpa sistem kendali. Pada pengujian ini biofermentor dijalankan tanpa dikendalikan. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Hasil pengamatan suhu air biofermentor tanpa sistem kendali

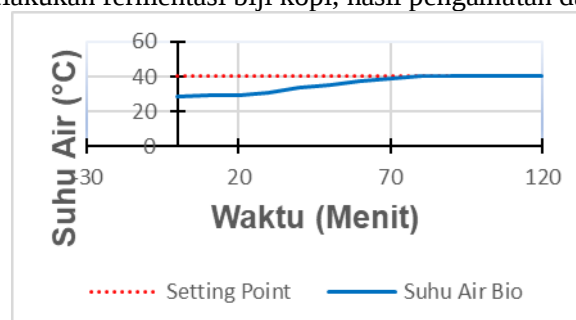
Gambar 1 menunjukkan bahwa daya IR yang diberikan sebesar 300 watt mampu menaikkan suhu melebihi *setting point* yang akan diterapkan. Tampak suhu terus meningkat melebihi *setting point* 40°C yang akan diterapkan, hal ini menunjukkan bahwa biofermentor membutuhkan sistem kendali agar proses fermentasi dapat berlangsung sesuai dengan *setting point* yang ditetapkan.

Uji Pengaduk

Uji pengaduk bertujuan untuk mengetahui apakah pengaduk dapat berfungsi untuk menyeragamkan suhu bawah dan atas air fermentasi atau tidak. Diharapkan bahwa setiap terjadi selisih antara suhu dibagian bawah dan atas lebih besar atau sama dengan 1,5 °C maka pengaduk akan berputar. Berdasarkan hasil pengamatan bahwa pengaduk berputar jika terjadi selisih suhu atas dan bawah besar 1,5 °C dan membutuhkan waktu rata-rata 4 menit untuk mencapai seragam hal ini menunjukkan pengaduk berfungsi sesuai yang diharapkan

Uji Pengontrol

Uji pengontrol dilakukan untuk melihat bagaimana respon biofermentor yang dilengkapi dengan sistem kendali melakukan fermentasi biji kopi, hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Hasil pengamatan suhu air biofermentor dengan sistem kendali

Gambar 2 menunjukkan bahwa tidak terjadi lonjatan suhu air (*overshoot*) diawal proses dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *setting point* adalah 80 menit.

Uji IoT

Pengujian iot bertujuan untuk melihat apakah data yang ditampilkan dalam *server thingspeak* sama dengan data yang ditampilkan dalam *display* arduino. diharapkan sistem IoT dapat membantu

dalam *monitoring* proses fermentasi biji kopi dari jarak jauh, hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Hasil monitoring suhu menggunakan sistem IoT

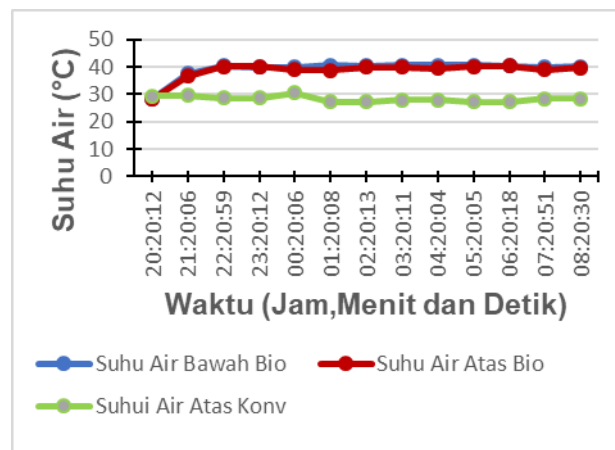
Gambar 3. menunjukkan bahwa data yang ditampilkan di *server thingspeak* sama dengan yang ditampilkan di *display arduino*, *server thingspeak* yang digunakan mampu menerima dan memvisualisasikan data suhu biofermentor selama koneksi internet terhubung dengan *server thingspeak*. Hal ini sesuai pernyataan (Chwalisz, 2016) yang menyatakan *thingspeak* merupakan layanan yang berisi aplikasi dan API yang bersifat *open source* untuk menyimpan dan mengambil data dari berbagai perangkat yang menggunakan HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) melalui Internet atau melalui LAN (*Local Area Network*).

Uji Kinerja Biofermentor

Uji kinerja bertujuan untuk mengetahui apakah kinerja kontrol masih konsisten dan melihat sejauh mana efek pengendalian terhadap mutu bahan serta kemampuannya dalam menghemat energi. Pada pengujian ini dilakukan pengamatan suhu air selama fermentasi, daya dan energi yang dikonsumsi sistem, pH larutan fermentasi, setelah itu dilakukan uji mutu biji kopi hasil fermentasi diantaranya kadar lendir, uji kadar air, uji warna, analisis pH dan total asam tertitiasi.

Suhu Air Fermentasi Biji Kopi

Uji kinerja selama proses fermentasi dilakukan pengamatan suhu air fermentasi dengan menggunakan biofermentor dan tanpa menggunakan biofermentor Gambar 4.

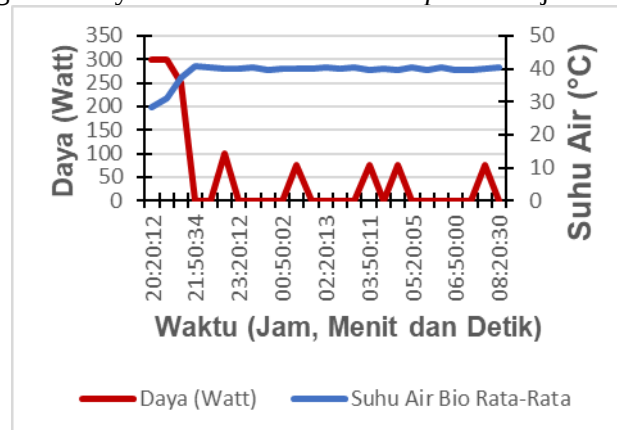


Gambar 4 Respon suhu air selama proses fermentasi biji kopi

Gambar 4 menunjukkan bahwa selama fermentasi tanpa menggunakan biofermentor suhu air tidak stabil dan tidak mampu mencapai suhu 40°C, namun fermentasi menggunakan biofermentor suhu air bawah dan atas stabil di 40°C selama proses fermentasi berlangsung. Hal ini menunjukkan bahwa sistem kontrol *expert* yang diterapkan pada biofermentor mampu mempertahankan suhu sesuai dengan suhu fermentasi yang diterapkan.

Daya Dan Energi Yang Dikonsumsi Sistem

Pengujian penggunaan daya listrik bertujuan untuk mengetahui sejauh mana biofermentor biji kopi yang dilengkapi sistem kontrol *expert* mampu menghemat daya listrik selama sistem bekerja. Hasil pengamatan penggunaan daya listrik sistem kontrol *expert* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Suhu dan daya inframerah yang diberikan selama fermentasi biji kopi

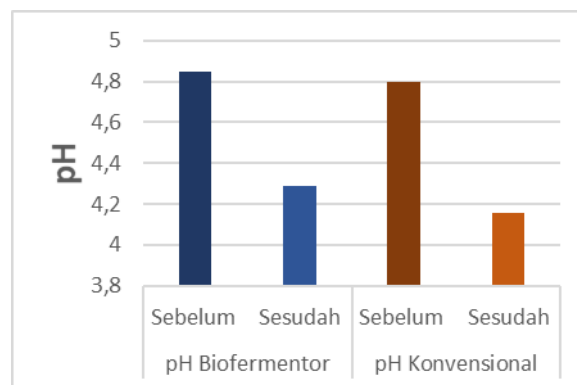
Pada Gambar 5 memperlihatkan bahwa daya listrik yang diberikan sistem kontrol ke pemanas inframerah saat awal proses fermentasi sebesar 300 watt. Namun, ketika suhu mendekati *setting point* daya turun secara bertahap dan nol Watt saat mencapai suhu *setting point*, untuk mempertahankan suhu setting point maka sesekali daya akan naik lagi dan begitu seterusnya. Hal ini menunjukkan bahwa pengendalian daya mampu memberikan efek terhadap penggunaan daya listrik pada biofermentor. Selama fermentasi, energi listrik yang digunakan untuk fermentasi biji kopi dengan menggunakan biofermentor dapat dilihat pada Tabel 4.1. Bila energi listrik yg digunakan Biofermentor dikonversi ke biaya, dimana harga listrik per kWh adalah Rp. 1.444,70 (<https://web.pln.co.id/>), maka biaya fermentasi per kg biji kopi adalah Rp. 268.

Tabel. 1 Jumlah energi dan estimasi biaya fermentasi biji kopi

Perlakuan	Jumlah energi (kWh)	Estimasi biaya (Rp/Kg)
40°C	0,93	Rp. 268

pH Larutan Fermentasi

Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu faktor penting yang perlu diperhatikan pada proses fermentasi dimana pH mempengaruhi pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* (Azizah dkk.,2019).



Gambar 6 pH fermentasi biji kopi

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan, pH air sebelum fermentasi pada biji kopi arabika dengan menggunakan biofermentor yaitu sebesar 4.84 kemudian setelah dilakukan fermentasi didapatkan nilai pH akhir air fermentasi sebesar 4.28 dan pH awal sebelum fermentasi tanpa menggunakan biofermentor yaitu sebesar 4.79 kemudian setelah dilakukan fermentasi didapatkan

nilai pH akhir sebesar 4.15. hal ini menunjukkan bahwa proses fermentasi telah tercapai yang ditandai dengan adanya pembentukan asam-asam organik terjadi akibat adanya aktivitas metabolisme mikroba yang ditambahkan terutama bakteri asam laktat dalam fermentasi tersebut sehingga hal tersebut dapat memicu penurunan pH pada biji kopi. Menurut (Adrianto dkk, 2020) menyatakan nilai pH yang menurun dipengaruhi oleh akumulasi asam-asam organik dan peningkatan jumlah proton H^+ sebagai hasil dari metabolisme bakteri akibat penguraian asam-asam amino.

Kadar Pulp

Kadar *pulp* merupakan salah satu kriteria berhasilnya proses fermentasi, dimana *pulp* pada permukaan biji kopi berkurang setelah proses fermentasi selesai. Untuk itu dilakukan pengamatan berat biji kopi sebelum dan setelah proses fermentasi, kemudian selisih berat dari keduanya merupakan berat *pulp* akibat dari proses fermentasi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Pulp biji kopi setelah fermentasi

Pada Gambar 7 dapat dilihat *pulp* atau lendir pada biji kopi sesudah fermentasi selama 12 jam, dimana endapan *pulp* hasil fermentasi konvensional tidak tampak sedangkan endapan *pulp* hasil fermentasi dengan biofermentor cukup jelas di dasar wadah.

Tabel 2 Hasil pengamatan berat sebelum dan setelah fermentasi

Metode fermentasi	Berat biji kopi sebelum fermentasi (g)	Berat biji kopi setelah fermentasi (g)	Berat <i>pulp</i> (g)
Biofermentor	5.000,01	4.272,52	727,49
Konvensional	5.000,03	4.606,62	393,41

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh bahwa berat biji kopi hasil fermentasi dengan biofermentor berkurang sebesar 14,54 % sedangkan biji kopi hasil fermentasi tanpa biofermentor berkurang sebesar 7,86 % (Lampiran. 8), hal ini menunjukkan bahwa *pulp* yang terlepas selama fermentasi menggunakan biofermentor dengan sistem kendali *expert* lebih banyak dibandingkan tanpa biofermentor. Sedangkan hasil penelitian sebelum biofermentor di *scale up* yg dilakukan Kusmiah dkk (2021) diperoleh hasil bahwa berat biji kopi hasil fermentasi dengan biofermentor berkurang sebesar 13,3%, sedangkan berat biji kopi hasil fermentasi tanpa biofermentor berkurang sebesar 11,9 % (Lampiran. 11). Hal ini menunjukkan bahwa biofermentor yg di *scale up* 5 kali hasil pelepasan *pulp* lebih banyak berkurang dan fermentasi tanpa biofermentor hasil pelepasan *pulp* lebih sedikit. Menurut Kusmiah dkk (2021) *pulp* yang berkurang disebabkan oleh pemecahan glukosa oleh mikroba, pemecahan komponen ini menandakan bahwa proses fermentasi terjadi dengan sempurna. Sedangkan menurut Ridwansyah (2003) bahwa pada saat proses fermentasi terjadi pemecahan Komponen mucilage atau bagian yang terpenting dari lapisan ber*pulp* (getah), material inilah yang terpecah dalam proses fermentasi.

Kadar Air Biji Kopi

Hasil uji kadar air biji kopi yang dihasilkan dari metode biofermentor dan konvensional yang sama-sama dikeringkan selama 10 hari diperoleh nilai kadar air yang berbeda, kadar air dengan menggunakan biofermentor yaitu 11,7% sedangkan kadar air tanpa biofermentor 12,55% (Lampiran 9). Hal ini menunjukkan bahwa *pulp* pada biji yg belum larut dengan baik pada metode fermentasi konvensional mempengaruhi pelepasan air pada proses pengeringan. Oleh karena itu salah satu keuntungan proses fermentasi dengan metode biofermentor adalah dapat mempercepat waktu pengeringan. Sedangkan hasil penelitian sebelum biofermentor di *scale up* yg dilakukan Kusmiah dkk (2021) diperoleh hasil kadar air yang sama dengan metode biofermentor dan metode konvensional dari masing-masing sampel yaitu 12% (Lampiran. 11). Hal ini menunjukkan bahwa biofermentor yg di *scale up* 5 kali tidak berpengaruh besar dengan nilai kadar air sebelum di *scale up*. Sudah sesuai dengan SNI 01-2907-2008 dimana kadar air biji kopi yang optimal yakni <12,5%. Hal ini sesuai dengan Novita dkk (2010) yang menyatakan bahwa kadar air 12 % dengan toleransi 1% telah mampu menjamin keamanan selama penyimpanan. Kadar air aman untuk penyimpanan adalah 11,62 % pada suhu 30 °C dan 11,24% pada suhu 35 °C, sebaliknya jika kadar air rendah dibawah 9% maka terlalu kering dan dapat menyebabkan kerusakan cita rasa dan warna, maka dari itu untuk dapat menjamin keamanan penyimpanan pada biji kopi kering, akan lebih baik apabila kadar air maksimum sebesar 11%.

Warna Biji Kopi ($L^*a^*b^*$)

Pengujian warna dilakukan dengan alat *colorimeter*, dimana yang diamati adalah nilai $L^* a^* b^*$ dari biji kopi yg telah dikeringkan. Menurut Winarno (2002) kecerahan warna (L^*) menunjukkan warna gelap hingga putih terang dengan nilai berkisar 0-100. Selain sebagai faktor yang menentukan mutu, warna juga dapat digunakan sebagai indikator kesegaran atau kematangan. Berdasarkan pengujian yang dilakukan diperoleh hasil bahwa nilai L^* biji kopi hasil fermentasi dengan biofermentor adalah 31,71 dan nilai L^* biji kopi hasil fermentasi tanpa biofermentor adalah 41,75 (Lampiran 9), hal ini menunjukkan bahwa warna biji kopi dengan menggunakan biofermentor lebih gelap daripada tanpa menggunakan biofermentor. Sama hasil penelitian sebelum biofermentor diperbesar (*scale-up*) yang dilakukan Kusmiah dkk (2021) dimana nilai L^* biji kopi hasil fermentasi dengan biofermentor adalah 31,63 dan untuk nilai L^* biji kopi fermentasi tanpa biofermentor adalah 44,87 (Lampiran. 11). Hal ini sesuai hasil penelitian Muzaifa dkk (2016) bahwa warna biji kopi yg dihasilkan luwak adalah lebih gelap.

pH Kopi Seduhan

Berdasarkan pengujian pH yang dilakukan setelah kopi disangrai, hasil menunjukkan nilai pH kopi seduh sampel yg difermentasi dengan biofermentor lebih rendah yaitu 4,93, sedangkan pH kopi seduh tanpa biofermentor diperoleh nilai pH 5,07 (Lampiran 9). Hal ini menunjukkan bahwa fermentasi menggunakan biofermentor tingkat keasamannya sedikit lebih rendah dibanding fermentasi tanpa menggunakan biofermentor. Nilai pH dengan menggunakan biofermentor hampir mendekati pH kopi luwak Gayo pada penelitian yang dilakukan Sutanto dkk (2016) yaitu nilai pH kopi seduhan 4,84. Sedangkan hasil penelitian sebelum biofermentor diperbesar (*scale up*) yang dilakukan Kusmiah dkk (2021) diperoleh pH bubuk kopi fermentasi dengan biofermentor diperoleh nilai pH 5,7, dan nilai pH kopi seduh tanpa biofermentor yaitu 5,9 (Lampiran. 11). Hal ini menunjukkan bahwa biofermentor yg diperbesar (*scale up*) 5 kali hasil pH kopi seduhan lebih rendah setelah di *scale up* dikarenakan pembentukan kandungan asam-asam salah satunya asam laktat pada biji kopi pada saat fermentasi lebih cepat karena adanya penambahan pengaduk pada biofermentor dan juga adanya perbedaan jenis kopi yang digunakan. Sesuai dengan hasil penelitian Ginz dkk (2000) kopi arabika juga memiliki pH yang lebih rendah, yaitu sekitar 4,85-5,15.

Menurut Kusmiah dkk (2021) Nilai pH yang diperoleh ini terbentuk dari kandungan asam yang terdapat pada biji kopi yang salah satunya adalah asam laktat, sebagai salah satu indikator berhasilnya proses fermentasi. Hal ini sesuai dengan penelitian Widyotomo dkk (2009) yang menyatakan bahwa nilai pH biji kopi dipengaruhi oleh kandungan asam biji kopi seperti asam format,

asam asetat, asam oksalat, asam sitrat, asam laktat, asam malat dan asam quinat, asam ini yang berperan dalam pembentukan citarasa asam pada kopi.

Total Asam Titrasi Bubuk Kopi

Total asam titrasi merupakan salah satu indikator terjadinya fermentasi yang dinyatakan dalam persen asam laktat. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, diperoleh jumlah asam titrasi pada sampel bubuk kopi fermentasi dengan biofermentor yaitu 1,73% dan sampel tanpa biofermentor 1,43% (Lampiran 9). Sedangkan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan Kusmiah dkk (2021) diperoleh jumlah asam titrasi pada sampel bubuk kopi fermentasi dengan biofermentor sedikit lebih rendah yaitu 0,23% dan sampel tanpa biofermentor 0,20% (Lampiran. 11). Hal ini menunjukkan bahwa biofermentor yg diperbesar (*scale up*) 5 kali hasil total asam titrasi lebih tinggi dibanding sebelum di *scale up* dan paling mendekati nilai total asam titrasi kopi luwak hasil penelitian Fauzi dkk (2017) yaitu 2,05%. Menurut Kasim dkk (2020) Nilai total asam titrasi memiliki korelasi terhadap nilai pH bubuk kopi, semakin tinggi nilai total asam, maka nilai pH akan semakin rendah.

D. Penutup

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa: Telah diperbesar (*scale-up*) dan diterapkan sistem kontrol expert pada biofermentor biji kopi dan mampu bekerja dengan kinerja yang baik yaitu suhu fermentasi tidak *overshoot*, *settling time* cukup pendek, ess masih dalam range 2-5%, dan cukup stabil. *Pulp* yang berkurang pada fermentasi biji kopi dengan biofermentor setelah diperbesar (*scale-up*) lebih banyak yaitu 14,54% dan sebelum diperbesar 13,3%. Warna biji kopi dengan fermentasi menggunakan biofermentor sebelum diperbesar (*scale-up*) sedikit lebih gelap yaitu L^* 31,63 dan setelah diperbesar L^* 31,71. pH kopi seduhan dengan fermentasi menggunakan biofermentor sebelum diperbesar (*scale-up*) lebih tinggi yaitu pH 5,7 dan setelah diperbesar pH 4,93 mendekati pH kopi luwak Gayo 4,48. Total asam titrasi bubuk kopi dengan fermentasi menggunakan biofermentor sebelum diperbesar (*scale-up*) lebih rendah yaitu 0,23% dan setelah diperbesar 1,73% mendekati total asam titrasi kopi luwak asli 2,05%.

Daftar Pustaka

- Adrianto, R., Wiraputra, D., Agrippina, F. D., & Andaningrum, A. Z. (2020). Penurunan Kadar Kafein Pada Biji Kopi Robusta Menggunakan Fermentasi Dengan Bakteri Asam Laktat *Leuconostoc Mesenteroides* (B-155) Dan *Lactobacillus Plantarum* (B-76) Decrease in Caffeine Levels in Robusta Coffee Beans Using Fermentation With Lactic Acid. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 31(2), 163–169
- Azizah, M., Sutamihardja, R. M., & Wijaya, N. 2019. Karakteristik Kopi Bubuk Arabika (*Coffea arabica* L) Terfermentasi *Saccaromyces cerevisiae*. *Jurnal Sains Natural Universitas Nusa Bangsa*, 9(1), 37-46.
- Badan Standardisasi Nasional .2008. Standar Nasional Indonesia Biji Kopi 2907:2008. Badan Standardisasi Nasional.
- Day, R. A. dan Underwood, A. L. 2002. Analisa Kimia Kuantitatif, Edisi Keenam, Alih Bahasa oleh Dr. Ir. Iis Sopyan, M. Eng: Penerbit Erlangga Jakarta.
- Fardiaz, S. 1992. Mikrobiologi Pangan, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama,
- Fauzi, M., Choiron, M., & Astutik, Y. D. P. (2017). Karakteristik Kimia Kopi Luwak Robusta Artifisial Terfermentasi oleh Ragi Luwak dan A-Amilesa. *Jurnal Penelitian Pascasarjana Pertanian*. 14 (3) : 144-153.
- Fauzi, Muhammad .2008. Isolasi Dan Karakterisasi Bakteri Asam Laktat Biji Kopi Luwak (*Civet Coffee*). Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember
- Gardjito, Murdijati, & Dimas Rahadian A. M. 2011. Kopi: Sejarah dan Tradisi Minum Kopi, Cara Benar Mengekstrak dan Menikmati Kopi, Manfaat dan Risiko Kopi bagi Kesehatan. Yogyakarta: PT Kanisius.

- Kasim, S. et al. (2020) 'Penurunan Kadar Asam dalam Kopi Robusta (*Coffea canephora*) dari Desa Rantebua Kabupaten Toraja Utara dengan Teknik Pemanasan', KOVALEN: Jurnal Riset Kimia, 6(2), pp. 118–125. doi: 10.22487/kovalen. 2020. v6.i2.15133.
- Kusmiah, N., Waris, A., dan Manggabarani, I. (2021) Efektifitas Fermentor Fuzzy Digital terhadap Kualitas Biji Kopi. Jurnal Ilmu Teknologi Pertanian. Polewali Mandar. Vol 6:80-84.
- Muzaifa, M., Patria, A., Febriani, Abubakar, A., Hasni, D., Rahmi, F., & Sulaiman, I. (2016). *Kopi luwak: produksi, mutu, dan permasalahannya* (Y. Abubakar & H. Mutaqin (eds.); 1st ed.). Syiah Kuala University Press.
- Ogata K. (1984). Teknik Kontrol Automatik (Sistem pengukuran) Jilid II. Teknik Fisika Insitutut Teknologi Bandung. Erlangga, Bandung.
- Pratiwi, Nadhea Dwi, and Ringga Novelni. "Kelayakan Sediaan Lipstik Menggunakan Biji Kopi Arabika (*Coffea Arabica* L) sebagai Pewarna Alami." *Jurnal Pendidikan Tambusai* 7.2 (2023): 13114-13119.
- Ramanda, E., Hasyim, A. I., Lestari, D. A. H.2016. Analisis Daya Saing dan Mutu Kopi di Kecamatan Sumberjaya Kabupaten Lampung Barat. JIIA, 4 (3): 253–261.
- Ridwansyah. 2003. Pengolahan Kopi. Departemen Teknologi Pertanian. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Sutanto, J., Musbach, M., & Suntoro, A. (2016). Komparasi tingkat keasaman pada kopi arabika, kopi luwak dan kopi hasil iradiasi batan. V,31-36.
- Widyotomo, Sukrisno, S. Mulato, H. K. Purwadaria dan A. M. Syarief. 2009. Karakteristik Proses Dekafeinasi Kopi Robusta dan Reaktor Kolom Tunggal dengan Pelarut Etil Asetat. Available from: <http://www.isjd.pdii.lipi.go.id>.
- Widyotomo, Sukrisno, S. Mulato, H. K. Purwadaria dan A. M. Syarief. 2009. Karakteristik Proses Dekafeinasi Kopi Robusta dan Reaktor Kolom Tunggal dengan Pelarut Etil Asetat. Available from: <http://www.isjd.pdii.lipi.go.id>.
- Winarno, F. G. 2002. Kimia Pangan dan Gizi. Jakarta: Gramedia Utama.