

1. Pendahuluan

Penggunaan bahan bakar fosil saat ini menjadi sebuah permasalahan global, hal ini disebabkan beberapa hal yang terkait tentang isu pada aspek lingkungan, sosial dan ekonomi. Ketergantungan terhadap penggunaan bahan bakar fosil saat ini menjadi sebuah isu yang menimbulkan berbagai kekhawatiran terutama terkait menipisnya cadangan energi dunia, selain itu penggunaan bahan bakar fosil ini juga menimbulkan terjadinya perubahan iklim (*global warming*). Gas karbon (CO_2) merupakan salah satu gas utama yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil, yang menjadi penyumbang utama terjadinya pemanasan global terjadinya kerusakan ekosistem di bumi. Perlu adanya kesadaran akan dampak negatif terhadap penggunaan bahan bakar fosil, sehingga hal ini akan mendorong untuk mencari alternatif energi terbarukan yang lebih ramah terhadap lingkungan serta berkelanjutan.

Bioetanol merupakan salah satu alternatif energi terbarukan yang dapat digunakan. Bioetanol adalah bahan bakar yang dihasilkan melalui proses fermentasi biomassa yang tinggi akan kandungan pati dan selulosa, selain itu bahan baku pembuatannya lebih murah dibandingkan penggunaan bahan bakar fosil ((Bušić et al., 2018; Jena & Kar, 2019). Penggunaan bioetanol selain merupakan energi terbarukan, juga mempunyai kontribusi dalam menekan jumlah emisi gas karbon. Bioetanol mampu mengurangi emisi gas karbon hingga lebih dari 80% dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar fosil (Segovia-Hernández et al., 2022). Berdasarkan hal tersebut menjadikan bioetanol menjadi pilihan strategis untuk menekan terjadinya perubahan iklim serta memperkuat ketahanan energi nasional. Bioetanol dalam proses produksinya dengan memanfaatkan sumber daya lokal sehingga mengurangi akan kebutuhan impor energi.

Indonesia merupakan negara yang mempunyai keragaman biodiversitas tanaman yang tinggi, serta sumber daya pertanian yang luas. Hal ini menjadikan Indonesia mempunyai peluang lebih besar untuk mengembangkan bioetanol berbasis bahan baku lokal. Komoditas yang bisa digunakan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol salah satunya adalah ubi jalar (*Ipomoea batatas* L.). Ubi jalar merupakan salah satu pangan tradisional yang mempunyai kandungan pati yang tinggi, serta tanaman ini sangat mudah untuk dibudidayakan dan mempunyai kemampuan adaptasi yang baik terhadap berbagai kondisi lingkungan (Motsa et al., 2015). Ubi jalar juga mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol, dikarenakan produktivitas tanaman yang lebih tinggi dibandingkan ubi kayu (singkong). Varietas unggulan ubi jalar seperti shiroyutaka, sukuh dan jago mampu menghasilkan produktivitas tanaman >30 ton umbi segar/ha, dengan kandungan pati berkisar antara 18-22,5%, berdasarkan angka tersebut menjadikan ubi jalar sangat berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol (Jusuf & Ginting, 2014).

Produksi bioetanol menggunakan bahan baku ubi jalar melalui beberapa tahapan antara lain ekstraksi, hidrolisis, dan fermentasi. Pada tahapan fermentasi akan merubah gula yang diperoleh dari tahapan hidrolisis menjadi etanol yang dibantu oleh mikroorganisme seperti *Saccharomyces cerevisiae*. Penggunaan kombinasi mikroorganisme akan meningkatkan produksi etanol sampai 65% dibandingkan penggunaan kultur tunggal. kombinasi yang dapat digunakan dalam proses fermentasi seperti *Saccharomyces cerevisiae* dan *Trichoderma sp* (Swain et al., 2013). Berdasarkan hal tersebut pemilihan jenis mikroorganisme serta teknik fermentasi mempunyai pengaruh yang penting terhadap hasil akhir. Suhu, pH, dan konsentrasi inokulum juga mempunyai peran penting terhadap rendemen etanol yang dihasilkan. Menurut Ojewumi et al (2018) rendemen etanol maksimum diperoleh pada suhu 32,5°C, pH 5,0, dan ukuran inokulum 6% (v/v) setelah 48 jam fermentasi.

Upaya yang dilakukan untuk meningkatkan produktivitas ubi jalar dengan kandungan pati tinggi merupakan langkah strategis untuk mendukung pengembangan bioetanol. Hasil penelitian Lestari & Hapsari, (2015) mengidentifikasi terdapat 17 klon ubi jalar yang mempunyai karakteristik berbeda beda meliputi dalam tipe forage (3 kultivar), low dual-purpose (3 kultivar), high dual-purpose (7 kultivar), dan low root production (4 kultivar). Tipe dual purpose merupakan tipe umbi yang cocok dikembangkan untuk mendukung pertanian bio-industri. Penelitian Indawan et al., (2018) juga mengembangkan dan meneliti terkait klon-klon ubi jalar yang ditanam dengan penambahan biochar sebagai pendukung perbaikan kondisi tanah serta menghasilkan klon ubijalar yang optimal. Selain itu menurut (Julianto et al., 2021) menyatakan bahwa dalam menghasilkan ubi jalar yang mempunyai produktivitas tinggi dapat menggunakan parameter berat kering umbi sebagai parameter seleksi, dikarenakan parameter tersebut mempunyai hubungan korelasi positif dengan kriteria kuat. Dengan demikian penggunaan klon unggul

dan pengelolaan lahan berkelanjutan akan mampu mendukung ketersediaan bahan baku terkait produksi bioetanol secara konsisten.

Tantangan dalam produksi bioethanol tidak hanya terletak pada aspek teknis, tetapi juga dalam aspek adanya integrasi dengan pembangunan berkelanjutan. Produksi energi terbarukan harus mampu memenuhi kebutuhan energi serta mendukung kondisi lingkungan yang berkelanjutan. Keterkaitan antara pengembangan bioetanol sebagai energi terbarukan serta pengembangan arsitektur berkelanjutan menjadi relevan. Arsitektur berkelanjutan merupakan konsep pembangunan yang menekankan terhadap penggunaan material ramah lingkungan, efisiensi energi, dan pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk mendukung terwujudnya bangunan yang hemat energi serta rendah terhadap emisi gas karbon (Dhruv Sai Reddy, 2023). Pemanfaatan sumber daya terbarukan seperti kayu dan bahan daur ulang, desain hemat energi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca yang bertujuan untuk melestarikan sumber daya alam, meningkatkan kualitas udara dalam ruangan, dan meminimalkan limbah (Abdel Hay bin Omera, 2024). Dengan memanfaatkan bioetanol, arsitektur dapat mengurangi ketergantungan pada energi berbasis fosil sekaligus menciptakan desain bangunan yang selaras dengan prinsip berkelanjutan.

Penggunaan bioetanol dapat digunakan sebagai energi dalam berbagai sistem yang mendukung arsitektur berkelanjutan, seperti penggunaan pemanas dan pendingin ruangan yang menggunakan bahan bakar bioetanol atau menggunakan generator mikro yang digunakan untuk kebutuhan listrik di bangunan perumahan. Adanya integrasi energi terbarukan dengan pemberdayaan petani lokal akan meningkatkan kemandirian energi, peningkatan perekonomian, mengurangi limbah, dan mendorong berlangsungnya praktek berkelanjutan, sehingga pada akhirnya akan mempunyai kontribusi pada rantai pasokan energi yang lebih inklusif (Karanjekar et al., 2024). Pemanfaatan potensi lokal untuk mendukung pembangunan energi berkelanjutan tidak hanya sebagai isu global, tetapi akan mendukung serta menjadi gerakan nyata yang melibatkan masyarakat.

Penelitian terkait pengembangan bioetanol berbahan dasar ubi jalar masih terus dikembangkan, terutama terkait pengaruh variasi konsentrasi ragi terhadap hasil fermentasi. Ragi tape merupakan salah satu sumber inokulum tradisional yang mempunyai potensi untuk memberikan kontribusi berbeda dibandingkan ragi murni. Selain itu potensi pemanfaatan klon-klon yang telah dihasilkan sebagai sumber bahan baku proses fermentasi bioetanol perlu diteliti lebih lanjut. Menurut Khaidir et al (2016) bahwa konsentrasi ragi tape berpengaruh terhadap pH dan kadar bioetanol yang dihasilkan, tetapi tidak memberi pengaruh yang nyata terhadap rendemen dan massa jenis bioetanol. Kemampuan produksi etanol dengan kultur bersama (*S. cerevisiae* dan *Trichoderma* sp.) lebih tinggi 65% dibandingkan kultur tunggal *S. cerevisiae* dari tepung ubi jalar tanpa sakarifikasi sedangkan konsentrasi etanol hampir sama pada kultur tunggal (*S. cerevisiae*) (Swain et al., 2013). Menurut Ojewumi et al (2018) bahwa hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa rendemen etanol maksimum diperoleh pada suhu 32,5°C, pH 5,0, dan ukuran inokulum 6% (v/v) setelah 48 jam fermentasi..

Berdasarkan uraian diatas maka dapat disimpulkan bahwa pengembangan bioetanol dari ubi jalar merupakan salah satu inovasi yang dapat digunakan untuk pengembangan bioetanol terutama untuk mendukung pembangunan berkelanjutan. Kegiatan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana hubungan antara kadar pati, kadar gula, serta pH (tingkat keasaman) terhadap peningkatan kadar alkohol.

2. Metode Penelitian

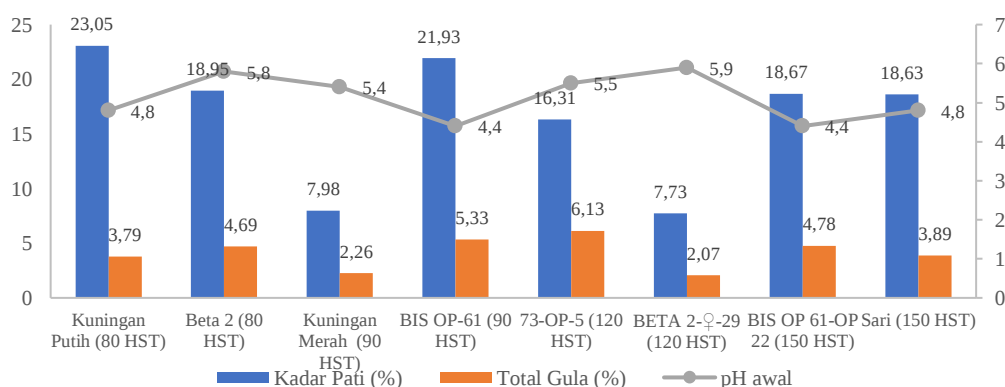
Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi Industri Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Laboratorium Kimia Program Studi Teknik Kimia Universitas Tribhuwana Tungadewi, dan Laboratorium Politeknik Negeri Malang. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 8 klon ubi jalar hasil dari hasil pengujian pemangkasan dan dampaknya terhadap hasil umbi dan brangkasan tanaman ubijalar. Klon yang diuji adalah : Kuningan Putih (80 HST), Beta 2 (80 HST), Kuningan Merah (90 HST), BIS OP-61 (90 HST), 73-OP-5 (120 HST), Beta 2-♀-29 (120 HST), BIS OP 61-OP 22 (150 HST), Sari (150 HST). Bahan lainnya yaitu ragi tape merk NKL, aquades dan alkohol 70%.

Penelitian dilakukan dengan melakukan pengujian awal terhadap kandungan pati, kandungan gula total, dan pH (tingkat keasaman) dari 8 klon ubi jalar meliputi Kuningan Putih (80 HST), Beta 2 (80 HST), Kuningan Merah (90 HST), BIS OP-61 (90 HST), 73-OP-5 (120 HST), Beta 2-♀-29 (120 HST), BIS OP 61-OP 22 (150 HST), Sari (150 HST). Setelah diperoleh informasi awal terkait kandungan pati, gula total, pH kemudian dilakukan pengujian fermentasi menggunakan ragi tape yang terdiri dari 3 level antara lain B1 : Konsentrasi ragi 5% (b/b), B2 : Konsentrasi ragi 10% (b/b), B3 : Konsentrasi ragi 15% (b/b).

Pembuatan bioetanol menggunakan fermentor anaerob sederhana dengan volume 500 mL. Masing-masing perlakuan menggunakan 100 gram ubi jalar segar yang di haluskan dengan menggunakan blender dengan dikukus terlebih dahulu. Ragi tape ditambahkan kedalam fermentor dengan konsentrasi 5%, 10%, dan 15% (b/b), lalu ditambah dengan 300 ml aquades steril. Fermentasi dilakukan selama 10 hari pada suhu ruang. Pengukuran kadar etanol dengan menggunakan Gas Chromatography (GC-14B) shimadzu FID system. Flame Ionization Detector (FID) merupakan detektor yang memiliki reproduktivitas maksimal untuk berbagai aplikasi. Suhu yang digunakan adalah 40-1600C dan gas yang digunakan sebagai gas pembawa adalah Nitrogen (N₂). Kadar pati dan total gula diuji menggunakan metode berdasarkan AOAC. Prosedur analisa (1). Pengukuran kadar etanol, (2). Pengukuran total gula, (3). Kadar gula reduksi. Metode Somogyi-Nelson, menentukan kadar glukosa didasarkan pada spektrofotometri. Data yang diperoleh kemudian dilakukan analasi korelasi untuk mengetahui kekuatan hubungan antar parameter pengamatan.

3. Hasil dan Pembahasan

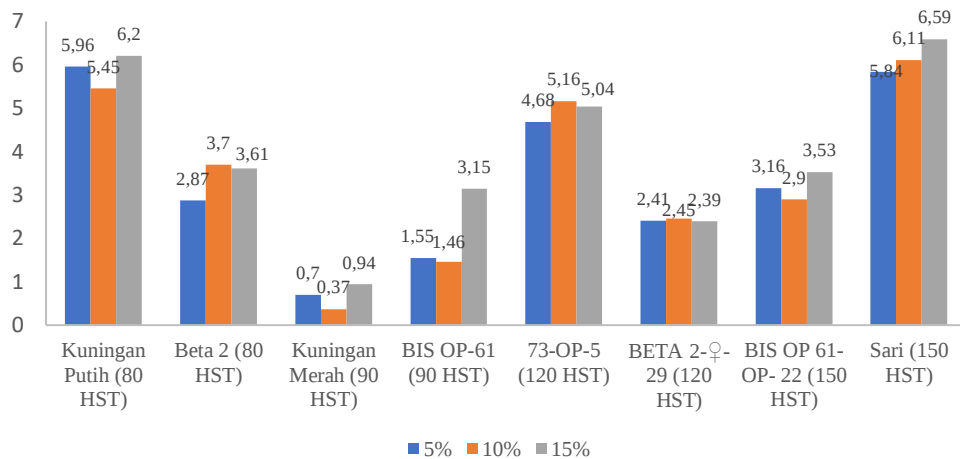
Klon adalah suatu kelompok tanaman dalam suatu jenis spesies tertentu yang diperbanyak secara vegetatif dengan menggunakan organ tanaman tertentu dan kelompok tersebut memiliki sifat penciri tertentu yang berbeda dengan sifat yang dimiliki oleh kelompok tanaman lain yang juga diperbanyak secara vegetatif pada jenis yang sama, diperbanyak secara vegetatif maka tingkat keseragaman genetik suatu klon tinggi dan sama dengan induknya. Hasil pengujian awal terkait parameter kadar pati, total gula, dan pH dari 8 klon ubi jalar, dapat dilihat pada gambar 1. Klon Kuningan putih (80HST) berdasarkan hasil analisis awal diketahui mempunyai rata-rata kadar pati tertinggi sebesar 23,05% , sedangkan BETA 2-♀-29 (120 HST) mempunyai kandungan pati paling rendah. Kadar gula total tertinggi ditunjukkan pada klon 73-OP-5 (120 HST) sebesar 6,13%, sedangkan klon BETA 2-♀-29 (120 HST) menunjukkan hasil kadar gula total terendah dibandingkan klon yang lain yaitu sebesar 2,07%. pH awal dari 8 klon ubi jalar yang dilakukan pengujian bervariasi mulai dari 4,4 – 5,9, klon BETA 2-♀-29 (120 HST) menunjukkan pH tertinggi dibandingkan klon yang lain, sedangkan klon BIS OP-61 (90HST) dan BIS OP-61 OP 22 (150 HST) menunjukkan nilai pH terendah yaitu sebesar 4,4 (gambar 1). Pembuatan bioetanol dengan bahan dasar ubi jalar ini melalui tiga tahapan proses yaitu proses hidrolisa, fermentasi dan distilasi. Proses hidrolisa dilakukan untuk mengurai pati menjadi gula pereduksi agar dapat difermentasi menjadi bioetanol.



Gambar 1. Hasil Analisis Kadar Pati, Total Gula, dan pH Awal 8 Klon Ubi Jalar Segar

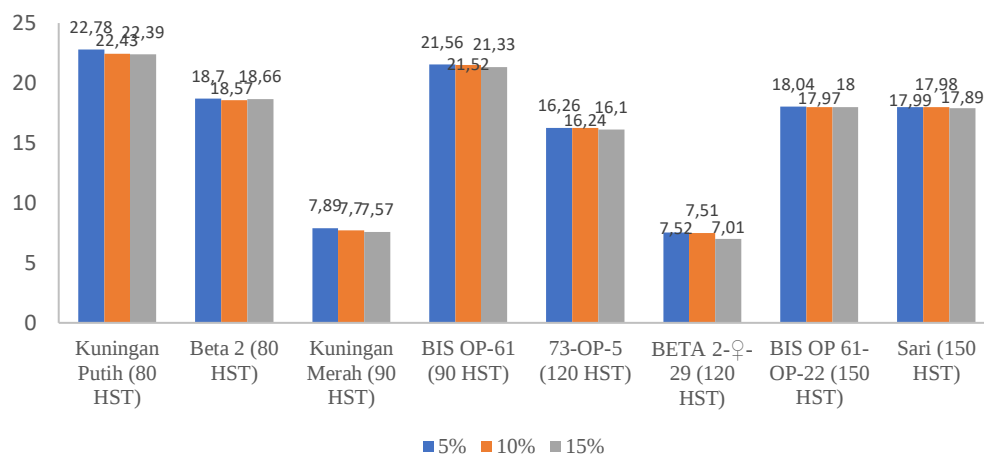
Proses fermentasi mengubah glukosa menjadi etanol dengan bantuan bakteri *Saccharomyces cereviceae*. Etanol berbentuk cairan tidak berwarna dan baunya khas. Berat jenis pada 15°C sebesar 0,7937 dan titik didihnya 78,32°C pada tekanan 76 mmHg, panas pembakaran 328 Kkal. Lamanya waktu fermentasi berpengaruh terhadap pH dan kadar bioetanol yang dihasilkan, tetapi tidak memberi pengaruh yang nyata terhadap rendemen dan massa jenis bioetanol hasil fermentasi ubi jalar merah. Adanya pengaruh interaksi antara konsentrasi ragi tape dan lamanya waktu fermentasi terhadap pH dan kadar bioetanol yang dihasilkan dari proses fermentasi ubi jalar. Proses produksi bioetanol dari bahan dengan komponen utama pati akan melibatkan proses sakarifikasi dan fermentasi. Proses perubahan komponen

kimia pada pembuatan bioetanol relatif sama dengan proses pembuatan tape dari ubi kayu dengan memanfaatkan inokulum dari sukseksi mikroorganisme.



Gambar 2. Kadar Alkohol Hasil Fermentasi 8 Klon Ubi Jalar

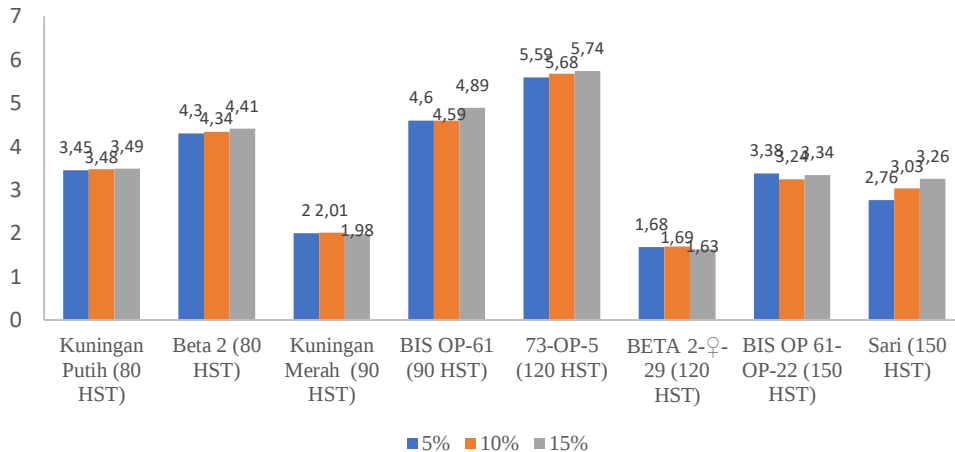
Berdasarkan hasil fermentasi diketahui bahwa produksi etanol yang menggunakan bahan dasar ubi jalar bervariasi. Varietas Sari (150 HST) mempunyai kadar alkohol tertinggi dibandingkan klon yang lain yaitu sebesar 6,18%, tetapi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan klon Kuningan Putih (80 HST) sebesar 5,87% (Gambar 2). Klon Kuningan Putih mempunyai keunggulan lain dibandingkan varietas Sari yaitu umur panen lebih cepat yaitu dapat di panen pada umur 80 HST, sedangkan varietas Sari umur panen lebih lama yaitu pada umur 150 HST. Perbedaan umur panen tidak berpengaruh secara langsung terhadap kadar alkohol tetapi hal ini berpengaruh secara langsung terhadap kandungan pati. Tanaman ubi jalar yang mempunyai umur lebih dari 3 bulan akan menyebabkan adanya penurunan kandungan pati hal ini terkait oleh adanya perubahan kandungan amilosa dan karakteristik gelatinasi pati (Huang, 2005). selain itu faktor lingkungan, seperti kondisi tanah dan iklim, juga mempengaruhi terhadap akumulasi pati selama periode pertumbuhan. Faktor-faktor ini dapat mempengaruhi ekspresi gen yang terlibat dalam sintesis pati dan metabolisme karbohidrat (S.-J. Wang et al., 2006).



Gambar 3. Kadar Pati Terkonversi dari Hasil Fermentasi 8 Klon Ubi Jalar

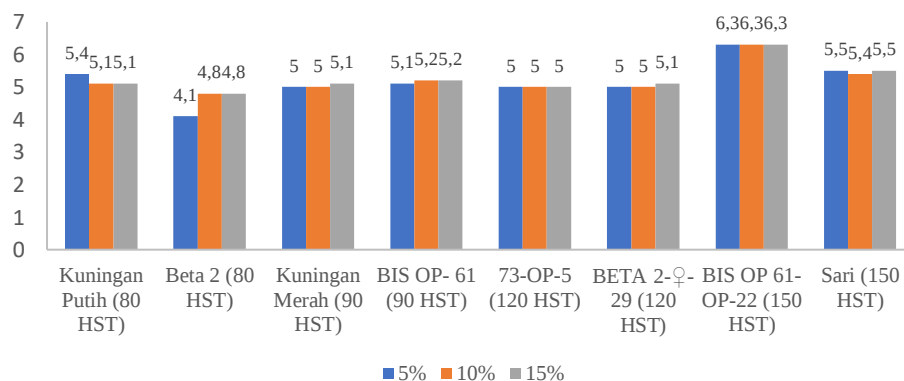
Kadar pati yang terkonversi tertinggi yaitu pada klon Kuningan Putih (80 HST) dengan rata-rata kadar pati sebesar 22,53% dan menunjukkan hasil yang berbeda dengan varietas Sari sebesar 17,95%, sedangkan kadar pati terendah yaitu pada klon BETA 2-♀-29 (120 HST) dengan rata-rata pati yang terkonversi sebesar 7,35% (Gambar 3). Perbedaan konsentrasi ragi (5%, 10%, dan 15%) tidak memberikan perbedaan yang signifikan pada semua jenis klon yang diuji. Secara umum klon yang di panen pada umur 80 – 90 HST mempunyai nilai konversi pati lebih tinggi dibandingkan klon ubi jalar yang di panen di atas 120 HST menunjukkan adanya penurunan pati yang terkonversi. Umur panen akan berpengaruh terhadap pati dan

perubahan dinding sel semakin lama umur panen akan menyebabkan pati sulit dihidrolisis. Saat tanaman dewasa, komponen dinding sel seperti selulosa dan lignin menjadi lebih kaku, yang dapat menghambat aksesibilitas pati dan hidrolisis. Panen awal dapat mencegah perubahan ini, mempertahankan struktur dinding sel yang lebih terbuka yang memfasilitasi akses enzim ke butiran pati ((Kim et al., 2015).



Gambar 4. Kadar Total Gula Hasil Fermentasi 8 Klon Ubi Jalar

Berdasarkan gambar 4 dapat diperoleh informasi bahwa dari 8 klon ubi jalar yang di uji menggunakan konsentrasi ragi tape dengan konsentrasi yang berbeda beda menunjukkan hasil kadar total gula yang terkonversi bervariasi. Klon 73-OP-5 (120 HST) menunjukkan rata-rata kadar gula tertinggi dibandingkan klon yang lain yaitu sebesar 5,67%, selain itu perbedaan konsentrasi ragi tape yang digunakan tidak menunjukkan adanya perbedaan yang nyata relatif konsisten. Sedangkan klon BETA 2-♀-29 (120 HST) menunjukkan hasil kadar gula total yang terkonversi paling rendah dibandingkan klon yang lain yaitu rata-rata sebesar 1,67%, dan perbedaan antara konsentrasi ragi tape yang digunakan relatif konsisten tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Terdapat beberapa klon yang menunjukkan adanya peningkatan kadar gula terkonversi dengan adanya peningkatan konsentrasi ragi tape yang digunakan antara lain Beta 2, BIS OP-61 (90HST), 73-OP-5 (120 HST), dan varietas Sari. Menurut Ramasamy et al. (2014) bahwa pati adalah komponen yang paling berharga dalam ubi jalar, perubahan kandungan pati selama waktu penyimpanan secara langsung mempengaruhi perkembangan industri ubi jalar. Selama produksi bioetanol, kandungan pati merupakan karakteristik penting yang mempengaruhi efisiensi fermentasi. Berdasarkan hasil penelitian (X. Wang et al., 2020) menyatakan bahwa kandungan bahan kering mempunyai hubungan korelasi yang kuat ($R^2 = 0,935$) terhadap hasil bioetanol. Sehingga berdasarkan hal ini maka dapat diperoleh informasi bahwa semakin rendah kadar air maka akan meningkatkan hasil bioetanol. Berdasarkan hasil penelitian Lily Surayya et al., (2011) menyatakan bahwa kadar gula total yang lebih tinggi mempunyai korelasi positif dengan produksi bioetanol dari ubi jalar



Gambar 5. pH Hasil Fermentasi pada 8 Klon Ubi Jalar

Hasil fermentasi dengan menggunakan konsentrasi ragi yang berbeda (5%, 10%, dan 15%) menunjukkan pH bervariasi yang mendekati pH dengan kriteria asam, kecuali klon BIS OP 61-OP-22 (150

HST) yang mendekati kriteria pH netral (6,3), serta menunjukkan hasil kadar alkohol lebih rendah dibandingkan klon lain yang mempunyai rentan pH antara 4,1 – 5,5. Hal ini sesuai dengan penelitian (Hartina et al., 2014) yang menyatakan bahwa pH setelah fermentasi bervariasi (4, 4,5, dan 5) secara signifikan berpengaruh terhadap produksi bioetanol dengan menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*, serta pH 5 yang dilakukan fermentasi selama 6 hari menunjukkan proses fermentasi lebih efisien dan produksi bioetanol lebih optimal.

Tabel 1. Nilai koefisien korelasi antara kadar alkohol, kadar pati, dan kadar total gula hasil fermentasi 8 klon ubi jalar dengan 3 variasi konsentrasi ragi tape.

Karakter		Kadar Alkohol	Kadar Pati	Kadar Total Gula
Kadar Alkohol	r	1		
Kadar Pati	r	0,58	1	
Kadar Total Gula	r	0,34	0,66	1

Keterangan : 0 : Tidak ada korelasi antara dua variabel; > 0 – 0,25 : Korelasi sangat lemah; > 0,25 – 0,5 : Korelasi cukup; > 0,5 – 0,75 : Korelasi kuat; > 0,75 – 0,99 : Korelasi sangat kuat; 1 : Korelasi hubungan sempurna positif; r : Koefisien Korelasi

Peningkatan suhu dan konsentrasi ragi akan menyebabkan adanya peningkatan produksi etanol, rentan pH yang sedikit asam lebih disukai strain ragi digunakan selama proses fermentasi. Klon BIS OP 61-OP-22 (150 HST) saat dilakukan pengujian awal menunjukkan pH asam yaitu sebesar 4,4, kemudian setelah dilakukan fermentasi mengalami kenaikan pH yang signifikan dibandingkan klon yang lain. Nilai pH terendah yaitu sebesar 4,1 pada klon Beta 2 (80 HST) dari pH awal : 5,8 terjadi penurunan nilai pH. Fermentasi yang dilakukan dengan menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* umumnya akan menyebabkan adanya penurunan pH dari 4,81 menjadi 4,60 selama proses pembuatan bioetanol, penurunan yang terjadi ini tidak secara signifikan mempengaruhi kondisi keasaman dari proses ekstraksi ampas tebu (Fawaid et al., 2012).

Hasil analisis korelasi menunjukkan hubungan korelasi antara kadar alkohol dengan kadar pati mempunyai korelasi positif dengan kriteria korelasi kuat ($r = 0,58$), sedangkan kadar alkohol dengan kadar total gula mempunyai korelasi positif dengan kriteria korelasi cukup ($r = 0,34$). Berdasarkan hasil analisis korelasi juga diperoleh informasi bahwa kadar pati mempunyai hubungan korelasi positif dengan kriteria kuat (0,66) dengan kadar total gula. Persentase kadar kering berkorelasi nyata dan positif dengan kadar tepung dan gula yang dapat difermentasi. Persentase kadar kering dan kadar pati berkorelasi positif signifikan, dengan koefisien korelasi mencapai 0,96 (Tian et al., 2018). Menurut (Xiao et al (2009) menganalisis efisiensi energi dari sistem produksi bioetanol berasal dari tanaman padi sekitar 42,7%. Zhang et al., (2017) mengintegrasikan proses konversi energi yang berbeda oleh poli-generasi untuk mengurangi penggunaan sumber daya energi untuk produksi bioetanol dengan menggunakan mode kogenerasi (CGM) dan mode ekonomi sirkular (CEM), hal ini berdampak terhadap pengurangan sumber daya energi dan berdampak positif terhadap lingkungan dalam proses produksi bioetanol dari ubi jalar. Hasil penelitian (Lask et al., 2021; Xu et al., 2022) menyatakan bahwa penerapan CCS mampu menurunkan emisi CO₂ hingga 120% dibandingkan penggunaan bensin konvensional. Beberapa studi bahkan mencatat rentang penurunan sebesar 104% hingga 138% jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Produksi bioetanol adalah ekspresi akhir dari kualitas fermentasi dalam umbi ubi jalar. Selama penyimpanan dan proses fermentasi, ada banyak faktor yang menyebabkan perubahan hasil bioetanol dari genotipe ubi jalar yang berbeda dengan waktu penyimpanan (Gustina et al., 2022).

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa ubi jalar (*Ipomoea batatas* L.) mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol dengan menggunakan ragi tape dalam proses fermentasi. Analisis kadar pati, kadar gula total, serta kadar alkohol yang terkonversi dari 8 klon yang di uji dengan umur panen yang berbeda-beda menunjukkan hasil yang bervariasi. Klon Kuningan Putih (80 HST) dan Sari (150 HST) berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol, hal ini terlihat dari produksi alkohol tertinggi dibandingkan klon yang lain. Selain itu klon

Kuningan putih mempunyai keunggulan nilai kadar pati terkonversi pati tertinggi (22,53%) di bandingkan klon yang lain serta mempunyai umur panen yang pendek (80 HST). Analisis korelasi menunjukkan bahwa kadar pati mempunyai hubungan positif dengan kriteria kuat terhadap produksi kadar alkohol ($r = 0,58$), sedangkan kadar gula total terhadap produksi kadar alkohol mempunyai hubungan positif dengan kriteria cukup ($r = 0,34$).

5. Pengakuan

Ucapan terima kasih disampaikan kepada: (1) DRPM-Kemenristek Dikti yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah PUPT Tahun 2017, 2018 dan 2019; (2) Balitkabi yang menyediakan beberapa varietas ubi jalar yang telah dilepas, dan (3) FP-UB yang mengizinkan tim melaksanakan penelitian dan menyimpan koleksi klon-klon ubi jalar hasil penelitian yang digunakan dalam penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

- Abdel Hay bin Omera, A. (2024). The use of green building materials in enhancing sustainable architecture. *International Journal of Advanced Research on Planning and Sustainable Development*, 6(1), 51–70. <https://doi.org/10.21608/ijarpsd.2024.274890.1005>
- Bušić, A., Mardetko, N., Kundas, S., Morzak, G., Belskaya, H., Ivančić Šantek, M., Komes, D., Novak, S., & Šantek, B. (2018). Bioethanol Production from Renewable Raw Materials and its Separation and Purification: a Review. *Food Technology and Biotechnology*, 56(3). <https://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5546>
- Dhruv Sai Reddy, L. (2023). Study on Sustainable Architecture. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 12(1), 469–471. <https://doi.org/10.21275/SR23110215520>
- Fawaid, M. T., Al-Baarri, A. N., & Legowo, A. M. (2012). Substitusi ekstrak ampas tebu terhadap laju keasaman dan produksi alkohol pada proses pembuatan bioethanol berbahan dasar whey. *Animal Agriculture Journal*, 1(2), 362–366.
- Gustina, M., Jalaluddin, J., ZA, N., Bahri, S., & . M. (2022). PENGARUH LAMA WAKTU FERMENTASI TERHADAP KADAR BIOETANOL DARI PATI UBI JALAR UNGU (*Ipomea batata* L.). *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 2(2), 116–125. <https://doi.org/10.29103/cejs.v2i2.6604>
- Hartina, F., Jannah, A., & Maunatin, A. (2014). FERMENTASI TETES TEBU DARI PABRIK GULA PAGOTAN MADIUN MENGGUNAKAN *Saccharomyces cerevisiae* UNTUK MENGHASILKAN BIOETANOL DENGAN VARIASI pH DAN LAMA FERMENTASI. *ALCHEMY*. <https://doi.org/10.18860/al.v0i0.2907>
- Huang, H. (2005). *Variation in Root Starch Gelatinization Characteristics During the Growth and Development of Sweetpotato*. https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotat-ZNYK200503005.htm
- Indawan, E., Lestari, S. U., & Thiasari, N. (2018). Sweet potato response to biochar application on sub-optimal dry land. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 5(2), 1133–1139. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2018.052.1133>
- Jena, N., & Kar, M. K. (2019). Ethanol production from various plant sources using *Saccharomyces cerevisiae*. *International Journal of Chemical Studies*, 7(6), 2968–2971. <https://www.chemijournal.com/archives/?year=2019&vol=7&issue=6&ArticleId=8198>
- Julianto, R. P. D., Lestari, S. U., & Indawan, E. (2021). ANALISIS KORELASI DAN JALUR DALAM PENENTUAN KRITERIA SELEKSI UBI JALAR (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) BERDAYA HASIL TINGGI. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 23(1), 53–60. <https://doi.org/10.31186/jipi.23.1.53-60>
- Jusuf, M., & Ginting, E. (2014). The Prospects and Challenges of Sweet Potato as Bio-ethanol Source in Indonesia. *Energy Procedia*, 47, 173–179. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.211>
- Karanjkar, P. N., Patange, M. J., Godavari, Belagalla, N., Negi, V., KS, S., & Bisht, P. (2024). Integration of Renewable Energy Solutions in Agricultural Operations. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 28(11), 23–34. <https://doi.org/10.9734/jgeesi/2024/v28i11835>

- Khaidir, K., Ismadi, I., & Zulfikar, Z. (2016). *Proses Produksi Bioetanol dari Ubi Jalar Merah (Ipomoea batatas) Menggunakan Ragi Tape*. <https://repository.unimal.ac.id/2021/>
- Kim, S. M., Khullar, E., Liu, W., Lanahan, M., Lessard, P., Dohle, S., Emery, J., Raab, R. M. , & Singh, V. (2015). Rice Straw with Altered Carbohydrate Content: Feedstock for Ethanol Production. *Transactions of the ASABE*, 523–528. <https://doi.org/10.13031/trans.58.11021>
- Lask, J., Rukavina, S., Zorić, I., Kam, J., Kiesel, A., Lewandowski, I., & Wagner, M. (2021). Lignocellulosic ethanol production combined with CCS—A study of GHG reductions and potential environmental trade-offs. *GCB Bioenergy*, 13(2), 336–347. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12781>
- Lestari, S. U., & Hapsari, R. I. (2015). DUAL-PURPOSE ASSESSMENT FOR SWEETPOTATO. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 37(2). <https://doi.org/10.17503/Agrivita-2015-37-2-p123-129>
- Lily Surayya, E. P., Nasrulloh, N., & Abdul, H. (2011). Bioethanol Production from Sweet Potato Using Combination of Acid and Enzymatic Hydrolysis. *Applied Mechanics and Materials*, 110–116, 1767–1772. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.110-116.1767>
- Motsa, N. M., Modi, A. T., & Mabhaudhi, T. (2015). Sweet potato response to low-input agriculture and varying environments of KwaZulu-Natal, South Africa: implications for food security strategies. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 65(4), 329–340. <https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1011222>
- Ojewumi, M. E., Akwayo, I. J., Taiwo, O. S., Obanla, O. M., Ayoola, A. A., Ojewumi, E. O., & Oyeniyi, E. A. (2018). *Bio-Conversion of Sweet Potato Peel Waste to BioEthanol Using Saccharomyces Cerevisiae*. <http://eprints.covenantuniversity.edu.ng/11318/>
- Segovia-Hernández, J. G., Sanchez-Ramirez, E., Alcocer-Garcia, H., Romero-Garcia, A. G., & Quiroz-Ramirez, J. J. (2022). *Bioethanol* (pp. 25–50). https://doi.org/10.1007/978-3-031-13216-2_3
- Swain, M. R., Mishra, J., & Thatoi, H. (2013). Bioethanol production from sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) flour using co-culture of *Trichoderma* sp. and *Saccharomyces cerevisiae* in solid-state fermentation. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 56(2), 171–179. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132013000200002>
- Tian, S.-Q., Zhao, R.-Y., & Zhao, J.-L. (2018). Production of bioethanol from sweet potato tubers with different storage times. *BioResources*, 13(3), 4795–4806. <https://doi.org/10.15376/biores.13.3.4795-4806>
- Wang, S.-J., Chen, M.-H., Yeh, K.-W., & Tsai, C.-Y. (2006). Changes in Carbohydrate Content and Gene Expression During Tuberous Root Development of Sweet Potato. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 15(1), 21–25. <https://doi.org/10.1007/BF03321896>
- Wang, X., Tian, S., Lou, H., & Zhao, R. (2020). A reliable method for predicting bioethanol yield of different varieties of sweet potato by dry matter content. *Grain & Oil Science and Technology*, 3(3), 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2020.06.002>
- Xiao, J., Shen, L., Zhang, Y., & Gu, J. (2009). Integrated Analysis of Energy, Economic, and Environmental Performance of Biomethanol from Rice Straw in China. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(22), 9999–10007. <https://doi.org/10.1021/ie900680d>
- Xu, H., Lee, U., & Wang, M. (2022). Life-cycle greenhouse gas emissions reduction potential for corn ethanol refining in the USA. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 16(3), 671–681. <https://doi.org/10.1002/bbb.2348>
- Zhang, J., Jia, C., Wu, Y., Xia, X., Xi, B., Wang, L., & Zhai, Y. (2017). Life cycle energy efficiency and environmental impact assessment of bioethanol production from sweet potato based on different production modes. *PLOS ONE*, 12(7), e0180685. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180685>