

PRODUKSI ASAM SITRAT DARI EKSTRAK BUAH NANAS (*Ananas comosus L. Merr*) SEBAGAI DIVERSIFIKASI PRODUK AGROINDUSTRI DI KABUPATEN SEMARANG

Shanintya Dhivya Astrinia

Dinas Pertanian, Perikanan dan Pangan Kabupaten Semarang

Jl. Letjend Suprpto No.9B, Ungaran Barat, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah 50514

Email: shanintyadhivya@gmail.com

ABSTRAK

Asam sitrat merupakan salah satu produk yang banyak digunakan sebagai bahan tambahan pada industri makanan dan farmasi. Saat ini, asam sitrat diproduksi dalam skala industri menggunakan metode fermentasi, dan jamur *Aspergillus niger* adalah yang paling banyak digunakan. Nanas (*Ananas comosus L. Merr*) merupakan salah satu buah yang memiliki kandungan karbohidrat dan gula yang tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan asam sitrat dengan metode fermentasi. Di Kabupaten Semarang, nanas merupakan salah satu komoditas buah yang dibudidayakan sehingga produksi asam sitrat dari nanas dapat berperan dalam diversifikasi agroindustri di Kabupaten Semarang. Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi asam sitrat dari ekstrak buah nanas, dan mengkaji pengaruh waktu fermentasi dan penambahan nutrisi terhadap asam sitrat yang dihasilkan. Penelitian ini dilakukan melalui dua tahap utama, yaitu pembuatan suspensi spora dan tahap pembuatan substrat fermentasi. Fermentasi dilakukan dengan variasi konsentrasi KH_2PO_4 2, 4 dan 4 gram; konsentrasi urea 1, 1, dan 3 gram; pH awal 3 dan waktu fermentasi 7 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu fermentasi maka pH akan semakin rendah. Penambahan nutrisi yang melebihi kadar optimum menyebabkan terhambatnya produksi asam sitrat.

Kata Kunci: Asam sitrat, *Ananas comosus L. Merr*, fermentasi, *Aspergillus niger*

PENDAHULUAN

Latarbelakang

Asam sitrat merupakan salah satu produk komersial yang penting di dunia maupun di Indonesia (Sasmitaloka, 2017). Kebutuhan asam sitrat di dunia di dominasi oleh industri makanan dan minuman sebesar 75%, industri farmasi sebesar 10% dan sisanya 15% oleh industri lainnya (Zafar et al., 2020). Sedangkan di Indonesia sendiri, atau secara sintesis dari aseton atau gliserol. Banyak mikroorganisme telah digunakan

dalam produksi asam sitrat termasuk bakteri seperti *Bacillus licheniformis*, *B. subtilis*, *Corynebacterium spp.*; fungi seperti *A. niger*, *A. awamori*, *A. foetidus*, *Penicillium restrictum*; dan yeast seperti *Candida lipolytica*, *C. intermedia* and *Saccharomyces cerevisiae*. Namun, *Aspergillus niger* tetap menjadi mikroorganisme yang banyak dipilih dalam produksi asam sitrat karena penanganannya yang mudah, menghasilkan lebih banyak asam sitrat per satuan waktu dan juga

kemampuannya untuk memproduksi asam sitrat dari bahan yang murah (Kareem et al., 2010).

Bahan baku pembuatan asam sitrat yang memiliki kadar gula tinggi biasanya berasal dari buah-buahan (Zafar et al., 2020). Indonesia adalah salah satu Negara penghasil buah-buahan komersial yang terkenal di kawasan Asia Tenggara. Salah satu diantara jenis buah-buahan tersebut adalah nanas (Utomo, 2011). Di Kabupaten Semarang, nanas merupakan salah satu komoditas buah unggulan yang banyak diusahakan di setiap kecamatan (Nurjayanti et al., 2017). Pada Tahun 2018, produksi nanas di Kabupaten Semarang sebesar 92 kwintal, Tahun 2019 sebesar 334 kwintal dan Tahun 2020 sebesar 162,10 kwintal (Badan Pusat Statistik, 2021). Pemanfaatan nanas di Kabupaten Semarang selama ini hanya terbatas pada konsumsi langsung dan produksi olahan pangan saja, sehingga dengan memproduksi asam sitrat menggunakan nanas sebagai bahan bakunya dapat berperan dalam diversifikasi agroindustri di Kabupaten Semarang.

Nanas adalah buah tropis terpenting ketiga di dunia. Buah ini dikenal sebagai ratu buah karena rasanya yang istimewa. Nanas mengandung cukup banyak karbohidrat, serat kasar, air, kalsium, potasium, vitamin C dan berbagai mineral yang baik untuk sistem pencernaan dan membantu menjaga berat badan ideal dan nutrisi seimbang (Chaudhary et al., 2019). Mengingat kandungan karbohidrat dan gula yang cukup tinggi tersebut maka nanas dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan asam sitrat.

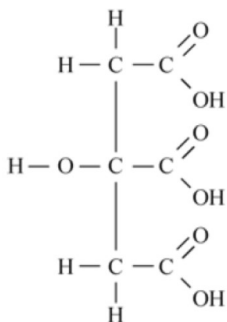
Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk memproduksi asam sitrat dari ekstrak buah nanas dengan metode submerged fermentation oleh *Aspergillus niger* sebagai diversifikasi produk agroindustri. Adapun secara khusus tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh lamanya waktu fermentasi dan penambahan nutrisi terhadap asam sitrat yang dihasilkan.

Tinjauan Pustaka

Asam sitrat atau asam 2-hidroksi-1,2,3-propanatrikarboksilat merupakan asam organik lemah yang memiliki rumus molekul $C_6H_8O_7$ (Ayeni et al., 2019). Senyawa ini banyak digunakan sebagai bahan tambahan dalam industri pangan dan farmasi (Adirestuti et al., 2015). Di industri pangan, asam sitrat digunakan sebagai acidulant atau pengatur keasaman yang memberikan rasa asam pada produk pangan seperti jeli, selai, gelatin, soft drink, sirup dan jus. Selain itu, asam sitrat juga berperan sebagai stabilizer untuk jus, permen, ikan, daging, buah dan sayur kalengan. Pada produk olahan susu seperti es krim dan keju, asam sitrat berperan sebagai emulsifier (Apelblat, 2014).

Penggunaan asam sitrat terbesar setelah di industri pangan adalah di industri farmasi. Di industri farmasi, asam sitrat digunakan sebagai antikoagulan yang berfungsi dalam transportasi dan penyimpanan plasma darah. Asam sitrat banyak direkomendasikan sebagai bahan tambahan dalam produk obat dan pangan karena sifatnya yang biodegradable, aman bagi konsumen dan industri, ramah lingkungan,

dan mudah dimetabolisme oleh tubuh (Apelblat, 2014).



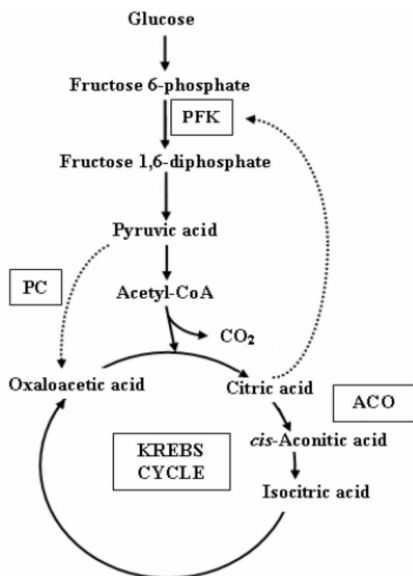
Gambar 1. Struktur molekul asam sitrat

(Gargul et al., 2018)

Asam sitrat pertama kali diisolasi dari ekstrak buah lemon dan dikristalisasi oleh Scheele pada Tahun 1784. Kemudian pada Tahun 1826, asam sitrat pertama kali diproduksi secara massal (Kirimura dan Yoshioka, 2019). Pada Tahun 1880, produksi asam sitrat dari gliserol pertama kali dilakukan. Kemudian produksi asam sitrat dari bahan sintetik lainnya dan dengan metode yang berbeda mulai dilakukan. Namun, semua metode sintetik ini terbukti tidak kompetitif karena bahan baku yang mahal atau berbahaya, atau mekanisme reaksi dan reaksi samping yang terlalu banyak sehingga menyebabkan rendahnya asam sitrat yang dihasilkan (Apelblat, 2014).

Saat ini, asam sitrat diproduksi dalam skala industri menggunakan metode fermentasi, dan kapang *Aspergillus niger* adalah yang paling banyak digunakan. Banyak mikroorganisme seperti kapang, yeast dan bakteri telah digunakan dalam produksi asam sitrat. Namun di antara semuanya, *A. niger* dianggap mikroorganisme terbaik

yang dapat digunakan untuk produksi asam sitrat karena penanganannya yang mudah, menghasilkan lebih banyak asam sitrat dan kemampuannya untuk memproduksi asam sitrat dari bahan yang murah (Kirimura dan Yoshioka, 2019). *Aspergillus niger* merupakan jamur yang dapat menghasilkan enzim, seperti α -amilase, β -amilase, dan selulase, sehingga *A. niger* dapat digunakan sebagai biokatalis dalam produksi asam sitrat secara fermentasi. Pada umumnya fermentasi asam sitrat melibatkan pati sebagai sumber karbohidrat. Pati dihidrolisis menjadi gula oleh amilase yang diproduksi oleh jamur atau ditambahkan ke dalam broth fermentasi. Katabolisme aerobik dari sumber karbon seperti sukrosa atau glukosa dalam produksi asam sitrat terdiri dari dua tahap yaitu tahap glikolisis yang mengkonversi glukosa menjadi asam piruvat dan tahap konversi piruvat menjadi asam sitrat melalui siklus Krebs (Syamsuriputra, 2006).



Gambar 2. Skema produksi asam sitrat dengan *Aspergillus niger* (PFK = phosphofruktokinase, PC = pyruvate carboxylase, ACO = aconitase) (Max et al., 2010)

Fermentasi asam sitrat di industri dapat dilakukan dengan substrat yang berbeda melalui tiga cara berbeda seperti *surface fermentation*, *submerged fermentation*, dan *solid-state fermentation* dengan kelebihan dan kekurangannya masing-masing (Behera et al., 2021). Proses *SmF* adalah metode yang paling umum digunakan dalam produksi asam sitrat di industri. Diperkirakan sekitar 80% produksi asam sitrat di dunia menggunakan metode ini. Metode *SmF* memiliki keuntungan seperti menghasilkan yield lebih banyak dan resiko terkontaminasi yang lebih rendah. Faktor-faktor yang paling mempengaruhi fermentasi asam sitrat adalah jenis dan konsentrasi sumber karbon, konsentrasi nitrogen dan fosfat, pH, aerasi, konsentrasi oligoelemen, dan

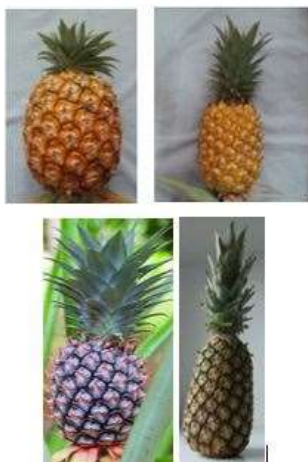
morfologi mikroorganisme yang digunakan dalam fermentasi. Nutrisi tertentu harus berlebih jumlahnya (seperti gula, proton atau oksigen), sebagian pada konsentrasi tertentu (seperti nitrogen dan fosfat) dan lainnya pada konsentrasi di bawah nilai ambang batas yang ditetapkan (seperti logam, terutama mangan) (Max et al., 2010).

Nanas atau Ananas *comosus* (L.) Merr. adalah buah tropis yang terkenal dengan keunikannya, rasanya yang menggugah selera dan tampilan luarnya yang cantik. Setelah pisang dan buah jeruk, nanas biasanya adalah buah esensial ketiga di dunia. Nanas tumbuh di iklim tropis yang panas dan lembab seperti Indonesia yang menjadi salah satu negara tropis penghasil nanas di dunia (Nayik dan Gull, 2020). Setiap 100 gram nanas mengandung 86% air, 12% karbohidrat, 9% gula, dan 1,4% serat (Assumi et al., 2021). Karena kandungan karbohidrat dan gulanya yang tinggi, maka nanas dapat digunakan sebagai bahan baku produksi asam sitrat dengan metode fermentasi.

Berdasarkan bentuk daun dan buah ada 4 jenis nanas, yaitu Cayenne (daun halus, tidak berduri, buahnya cukup besar dibanding jenis Queen), Queen (daun pendek, berduri tajam, buah berbentuk lonjong), Spanish (daun panjang kecil, berduri halus sampai kasar, buah bulat dengan mata datar), dan Abacaxi (daun panjang berduri kasar, buah berbentuk silindris). Jenis nanas yang banyak ditanam di Indonesia adalah Cayenne dan Queen. Nanas Queen umumnya ditanam di dataran

rendah, sedangkan nanas Cayenne ditanam di dataran tinggi (Yuwono, 2015).

Nanas dengan varietas Queen memiliki karakteristik buah dengan flavor baik, rapuh tidak banyak serat pada daging buahnya, warna daging buahnya kuning tua, dan bentuk buah bulat. Varietas Cayenne memiliki karakteristik buah besar dan berat, mata datar (cawan bunga tidak dalam), warna daging buah pada musim kemarau kuning, kandungan gula tinggi, dan daunnya tidak berduri (Yuwono, 2015). Nanas dapat tumbuh dan beradaptasi baik di daerah tropis dengan ketinggian tempat 100 m–800 m dari permukaan laut dan temperatur antara 21°C–27°C. Curah hujan yang dibutuhkan oleh nanas adalah 1.000 mm–1.500 mm per tahun dan kelembaban udara 70% - 80%. Nanas memerlukan tanah lempung berpasir sampai berpasir, cukup banyak mengandung bahan organik, drainase baik, dan sebaiknya pH di antara 4,5–6,5 (Indriyani, 2008).



Gambar 3. Buah nanas varietas Cayenne, Queen, Spanish, dan Abacaxi

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ekstrak buah nanas, bekatul, sekam padi, urea, KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, *Aspergillus niger*, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, H_2SO_4 , NaOH, potato dextrose agar (PDA), phenolphthalein dan aquadest. Sedangkan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah petridish, beaker glass, erlenmeyer, gelas ukur, buret, statif, klem, pipet, inkubator untuk fase cair, dan oven.

Metode

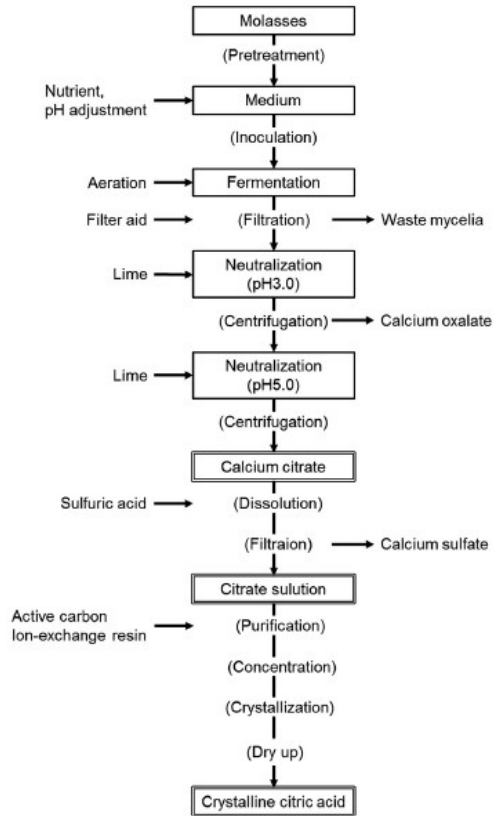
Penelitian ini dilakukan melalui dua tahap utama. Tahap pertama yaitu pembuatan suspensi spora lalu tahap pembuatan substrat fermentasi. Metode fermentasi yang akan dilakukan adalah fermentasi dengan media cair atau SmF. Langkah pertama, buat biakan *Aspergillus niger* dalam media PDA dan inkubasikan selama 3-5 hari pada suhu 30°C, lakukan dalam keadaan aseptik. Spora hasil pembiakan dilarutkan dengan aquadest.

Kemudian dilakukan persiapan media fermentasi. Siapkan ekstrak nanas sebagai sumber karbohidrat sebanyak 20 ml untuk masing-masing variabel. Tambahkan 6 gram bekatul, 9 gram sekam padi, dan 1 gram MgSO_4 ke dalam erlenmeyer. Tambahkan juga KH_2PO_4 masing-masing sebanyak 2, 4 dan 4 gram, dan urea masing-masing sebanyak 1, 1 dan 3 gram. Larutkan ekstrak nanas dan semua nutrisi dengan menggunakan aquadest hingga volume menjadi 100 mL dalam erlenmeyer lalu atur pH hingga 3. Tutup erlenmeyer menggunakan aluminium foil dan

sterilisasikan pada suhu 121°C selama 15 menit. Biarkan dingin pada suhu kamar. Setelah dingin, tanami dengan suspensi *Aspergillus niger* secara aseptik di ruang aseptik. Inkubasikan selama 7 hari pada suhu 30°C di dalam inkubator goyang. Kemudian dilakukan analisa kandungan asam sitrat setelah inkubasi selesai.

Analisa Asam Sitrat

Setelah selesai inkubasi, saring larutan dengan kertas saring atau pompa vakum kemudian panaskan filtrat yang diperoleh sampai 70°C. Tambahkan larutan Ca(OH)₂ sebanyak 10 mL. Endapan yang timbul segera disaring (dalam keadaan panas 70°C), kemudian dicuci dengan air panas 70°C. Endapan tersebut adalah kalsium sitrat. Kemudian endapan tersebut dikeringkan di dalam oven, setelah itu timbang beratnya. Endapan tersebut dilarutkan dengan H₂SO₄ encer, saring dengan kertas saring. Filtratnya merupakan asam sitrat dan endapannya adalah kalsium sulfat (Kirimura dan Yoshioka, 2019).



Gambar 4. Tahap pembuatan asam sitrat hingga pemurnian asam sitrat (Kirimura dan Yoshioka, 2019).

Untuk mengetahui asam sitrat yang dihasilkan setelah fermentasi, titrasi filtrat tersebut dengan NaOH 0,1 M menggunakan phenolphthalein sebagai indikator. Volume NaOH yang digunakan selama titrasi ekuivalen dengan kadar asam sitrat yang terbentuk (Ayeni et al., 2019).

Perhitungan kadar asam sitrat:

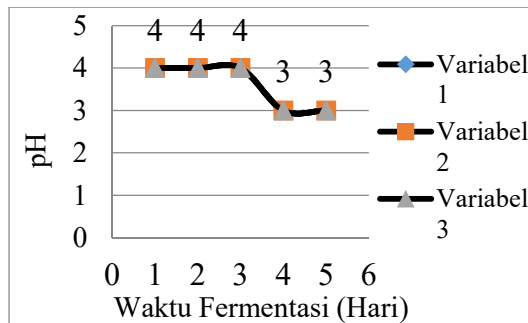
- Mol NaOH = volume NaOH (mL) × konsentrasi NaOH (mol/L) × 10⁻³
- Mol C₃H₅O(COOH)₃ =
$$\frac{(\text{mol NaOH} \times 1 \text{ mol C}_3\text{H}_5\text{O}(\text{COOH})_3)}{(3 \text{ mol NaOH})}$$

- Konsentrasi $C_3H_5O(COOH)_3$ =
$$\frac{mol\ C_3H_5O(COOH)_3\ (mol)}{volume\ C_3H_5O(COOH)_3\ (L)}$$
- Kadar $C_3H_5O(COOH)_3$ (g/L) = konsentrasi $C_3H_5O(COOH)_3$ (mol/L) × berat molekul $C_3H_5O(COOH)_3$ (g/mol)
(Ayeni et al., 2019)

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Waktu Fermentasi terhadap Asam Sitrat yang Dihasilkan

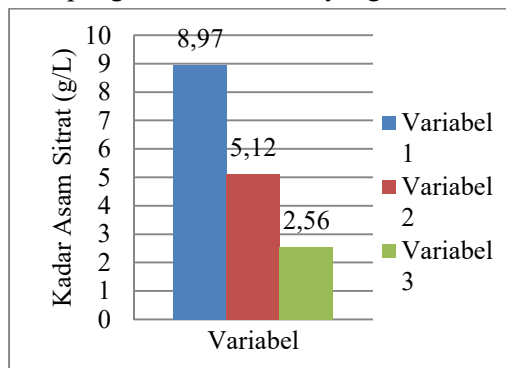
Dari Gambar 5, dapat diketahui bahwa lamanya waktu fermentasi dapat mempengaruhi pH dimana semakin lama waktu fermentasi, maka pH akan semakin menurun karena semakin banyak asam sitrat yang terbentuk (Ridwan et al., 2016). Sehingga pH dapat digunakan sebagai parameter terbentuknya asam sitrat, dimana menurunnya pH menandakan adanya aktivitas metabolisme dari *Aspergillus niger* yang mensekresikan asam sitrat (Siregar et al., 2018). Namun pada hari pertama terjadi lonjakan pH dari 3 menjadi 4. Peristiwa ini terjadi karena urea yang ditambahkan sebagai nutrisi terurai menjadi NH_3^+ dan CO_2 . NH_3^+ bereaksi dengan air membentuk NH_4OH yang merupakan basa lemah sehingga menyebabkan pH sedikit mengalami kenaikan dari pH awal sebelum fermentasi (Ridwan et al., 2016).



Gambar 5. Hubungan waktu fermentasi dengan pH

Pengaruh Penambahan Nutrien terhadap Asam Sitrat yang Dihasilkan

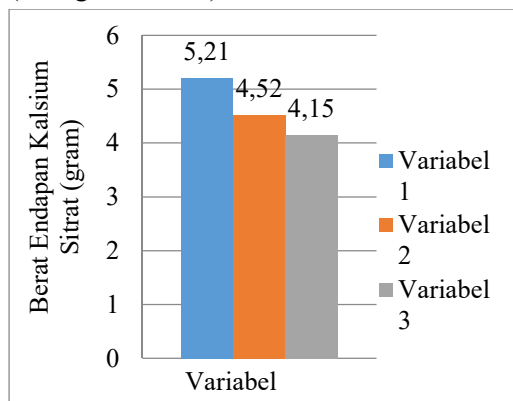
Kadar asam sitrat yang diperoleh pada masing-masing variabel dapat dilihat pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6, dapat disimpulkan bahwa penambahan nutrisi mempengaruhi asam sitrat yang dihasilkan.



Gambar 6. Kadar asam sitrat pada variabel 1, 2 dan 3

Terdapat parameter lain yang menunjukkan adanya perbedaan konsentrasi asam sitrat di setiap variabel yaitu jumlah kalsium sitrat yang terbentuk, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 7. Berdasarkan Gambar 6 dan 7, diketahui bahwa jumlah atau massa kalsium sitrat berbanding lurus dengan konsentrasi asam sitrat yang dihasilkan. Sehingga semakin tinggi konsentrasi asam sitrat yang dihasilkan maka semakin

banyak juga kalsium sitrat yang terbentuk (Wangestu, 2016).



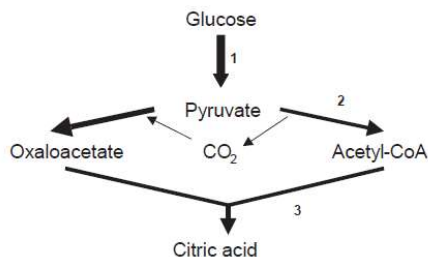
Gambar 7. Berat endapan kalsium sitrat pada variabel 1, 2 dan 3

Adanya fosfat dalam media fermentasi mempengaruhi asam sitrat yang dihasilkan. KH_2PO_4 terbukti sebagai sumber fosfor yang paling cocok untuk fermentasi asam sitrat. Fosfat diketahui penting untuk pertumbuhan dan metabolisme *A. niger*. Kadar optimum penambahan KH_2PO_4 pada fermentasi asam sitrat adalah 0,5 – 5 gram/liter (Soccol, 1999).

Pada variabel 1 dilakukan penambahan KH_2PO_4 sebanyak 2 gram, sedangkan pada variabel 2 dan 3 dilakukan penambahan KH_2PO_4 sebanyak 4 gram. Dari hasil percobaan, pada variabel 1 diperoleh kadar asam sitrat sebesar 8,97 g/L, pada variabel 2 diperoleh kadar asam sitrat sebesar 5,12 g/L dan pada variabel 3 diperoleh kadar asam sitrat sebesar 2,56 g/L. Pada variabel 1 didapatkan endapan kalsium sitrat sebesar 5,21 gram, endapan variabel 2 adalah sebesar 4,52 gram, dan endapan pada variabel 3 sebesar 4,15 gram. Secara teoritis, semakin mendekati kadar optimum KH_2PO_4 yang diberikan, asam sitrat yang

terbentuk akan semakin optimum. Namun, jika KH_2PO_4 yang diberikan berlebihan, maka dapat menurunkan sintesis asam sitrat secara berangsur-angsur (Ul-Haq, 2001).

Fenomena yang terjadi pada variabel 1, 2 dan 3 adalah semakin menurunnya asam sitrat yang dihasilkan seiring dengan KH_2PO_4 yang diberikan. Penurunan konsentrasi asam sitrat yang dihasilkan diakibatkan karena konsentrasi fosfat yang berlebih dapat meningkatkan pembentukan gula asam dan mengurangi fiksasi karbon dioksida. Fiksasi karbon dioksida merupakan reaksi penting dalam pembentukan Acetyl Co-A dan Oxaloacetate yang merupakan prekursor dalam pembentukan asam sitrat (Mostafa dan Alamri, 2012).



Gambar 8. Skema fiksasi karbon dalam produksi asam sitrat oleh *A. niger* (Vandenberghe, 2017)

Urea menjadi sumber nitrogen dalam produksi asam sitrat. Kadar optimum penambahan urea pada fermentasi asam sitrat adalah 0,1 – 0,4 gram/liter (Vandenberghe, 2017). Pada variabel 1 dan 2 dilakukan penambahan urea sebanyak 1 gram, sedangkan pada 3 dilakukan penambahan urea sebanyak 3 gram. Fenomena yang terjadi pada variabel 1, 2 dan 3 menunjukkan bahwa semakin banyak urea yang diberikan, dapat mengurangi

produksi asam sitrat. Hal tersebut dapat terjadi karena penambahan urea dengan konsentrasi yang tinggi, dapat meningkatkan pertumbuhan jamur dan konsumsi gula sehingga dapat menurunkan produksi asam sitrat. Jika diinginkan produksi asam sitrat yang tinggi, maka dilakukan penambahan urea dengan kadar yang rendah atau sesuai kadar optimumnya (Vandenbergh, 2017).

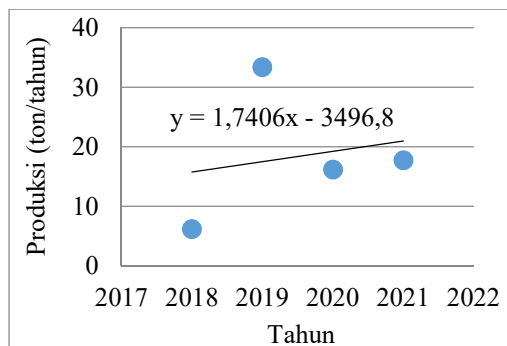
Peluang Produksi Asam Sitrat dari Buah Nanas sebagai Diversifikasi Agroindustri di Kabupaten Semarang

Di Kabupaten Semarang, nanas merupakan salah satu komoditas buah yang dibudidayakan, dengan sentra produksi di Kecamatan Bawen. Angka produksi nanas di Kabupaten Semarang mulai Tahun 2018 hingga Tahun 2021 dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan proyeksi angka produksi nanas di Kabupaten Semarang dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 1. Data produksi nanas di Kabupaten Semarang

Tahun	Produksi (ton/tahun)
2018	6.2
2019	33.4
2020	16.21
2021	17.73

Sumber: BPS, 2021



Gambar 9. Proyeksi angka produksi nanas di Kabupaten Semarang

Dari data pada Tabel 1, dapat dihitung perkiraan angka produksi nanas di Kabupaten Semarang hingga Tahun 2027, yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perkiraan angka produksi nanas di Kabupaten Semarang

Tahun	Produksi (ton/tahun)
2023	24.43
2024	26.17
2025	27.91
2026	29.66
2027	31.40

Sumber: Hasil Analisis, 2022

Dari data pada Tabel 2, dapat diprediksi bahwa ketersediaan nanas di Kabupaten Semarang akan selalu terjaga hingga lima tahun ke depan, terlepas dari faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan produksi nanas. Dengan adanya produksi nanas di Kabupaten Semarang, maka memberikan peluang usaha agroindustri. Karena pemanfaatan nanas di Kabupaten Semarang selama ini hanya terbatas pada konsumsi langsung dan produksi olahan pangan saja, memproduksi asam sitrat menggunakan nanas sebagai bahan bakunya dapat

berperan dalam diversifikasi agroindustri di Kabupaten Semarang mengingat asam sitrat merupakan salah satu produk yang kegunaannya beragam.

KESIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa nanas dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan asam sitrat dengan metode *submerged fermentation* oleh *Aspergillus niger*. Asam sitrat yang dihasilkan dipengaruhi oleh lamanya waktu fermentasi dan penambahan nutrisi. Semakin lama waktu fermentasi, maka akan semakin banyak asam sitrat yang terbentuk. Penambahan nutrisi yang berlebih dapat menurunkan produksi asam sitrat. Memproduksi asam sitrat menggunakan nanas sebagai bahan bakunya dapat berperan dalam diversifikasi produk agroindustri di Kabupaten Semarang.

Saran

Saran yang tepat setelah dilakukan penelitian ini adalah penambahan nutrisi KH_2PO_4 dan urea dalam proses fermentasi asam sitrat sebaiknya dilakukan pada kadar optimumnya, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai faktor lainnya yang dapat mempengaruhi kadar asam sitrat yang dihasilkan, perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai pengembangan agroindustri asam sitrat dari nanas, perlu dikaji produksi asam sitrat dari komoditas unggulan lainnya di Kabupaten Semarang sehingga dapat mendukung diversifikasi

produk agroindustri di Kabupaten Semarang.

DAFTAR PUSTAKA

- Adirestuti, P., Puspadewi, R., Windyaswari, A. S., & Anugrah, R. 2015. Biosintesis Asam Sitrat pada Kapang *Trichoderma viride* dalam Substrat Buah Nanas Limbah. Di dalam: Prosiding Seminar Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Universitas Jenderal Achmad Yani 2015, Cimahi. hlm 118–124.
- Apelblat, Alexander. 2014. Citric Acid. Switzerland: Springer International Publishing.
- Assumi, S. R., Singh P. T., & Jha, A. K. 2021. Pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) in Tropical Fruit Crops: Theory to Practical, 1st ed, p. 485 – 541. New Delhi: Jaya Publishing House.
- Ayeni, A. O., Daramola, M. O., Omowonuola, O. T., Olanrewaju, Oyekunle, D. T., Sekoai, P. T. and Elehinafe, F. B. 2019. Production of Citric Acid from the Fermentation of Pineapple Waste by *Aspergillus niger*. *The Open Chemical Engineering Journal*; 13: 88 – 96.
- Badan Pusat Statistik. 2021. Statistik Pertanian Hortikultura Provinsi Jawa Tengah 2018–2020. Semarang: CV. Surya Lestari.
- Behera, B. C., Mishra, R. & Mohapatra, S. 2021. Microbial citric acid: Production, properties, application, and future perspectives. *Food Frontiers*; 2: 62 – 76.

- Chaudhary, V., Kumar, V., Sunil, Vaishali, Singh, K., Kumar, R., and Kumar, V. 2019. Pineapple (*Ananas comosus*) Product Processing: A Review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*; 8(3): 4642 – 4652.
- Gargul, K., Jarosz, P., & Malecki, S. 2018. Leaching of Lead and Copper by Citric Acid from Direct-to-Blister Copper Flash Smelting Slag. *Preprints*; 1 – 11.
- Hadiati, S. & Indriyani, N. L. P. 2008. *Petunjuk Teknis Budidaya Nenas Sumatera Barat: Balai Penelitian Tanaman Buah Tropika*.
- Imandi, S. B., Bandaru, V. V. R., Somalanka, S. R., Bandaru, S. R., & Garapati, H. R. 2007. Application of Statistical Experimental Designs for the Optimization of Medium Constituents for the Production of Citric Acid from Pineapple Waste. *Bioresource Technology*; 99: 4445–4450.
- Kareem, S. O., Akpan, I., & Alebiowu, O. O. 2010. Production of Citric Acid by *Aspergillus Niger* Using Pineapple Waste. *Malaysian Journal of Microbiology*; 6(2): 161–165.
- Kirimura, K. and Yoshioka, I. 2019. Citric Acid in *Comprehensive Biotechnology*, 3rd ed, p.158 – 165. Japan: Elsevier.
- Max, B., Salgado, J. M., Rodríguez, N., Cortés, S., Conventi, A., & Domínguez, J. M. 2010. Biotechnological Production of Citric Acid. *Brazilian Journal of Microbiology*; 41: 862 – 875.
- Mostafa, Y. S. & Alamri, S. A. 2012. Optimization of Date Syrup for Enhancement of the Production of Citric Acid Using Immobilized Cells of *Aspergillus niger*. *Saudi Journal of Biological Sciences*; 19: 241–246.
- Nayik, G. A., & Gull, A. 2020. *Antioxidants in Fruits: Properties and Health Benefits*. Singapore: Springer Nature Pte Ltd.
- Nurjayanti, E. D., & Endah Subekti. 2017. Komoditas Hortikultura Unggulan di Kabupaten Semarang (Pendekatan LQ dan Surplus Produksi). Di dalam: *Prosiding SNST ke-8 Tahun 2017 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang*. hlm 98–102.
- Ridwan, M., Pratama, A., & Mubarok, F. 2016. Pengaruh Penambahan $MgSO_4$ dan KH_2PO_4 terhadap Pembentukan Asam Sitrat dari Sari Buah Belimbing (*Averrhoa carambola*) oleh *Aspergillus Niger*. *Journal Mikrobiologi Industri Teknik Kimia*; 1 – 5.
- Sasmitaloka, K. S. 2017. Produksi Asam Sitrat oleh *Aspergillus Niger* Pada Kultivasi Media Cair. *Jurnal Integrasi Proses*; 6(3): 116–122.
- Siregar, A. L. K., Hardianta, M. N., Cahyani, C., & Nurhadianty, V. 2018. Pengaruh Konsentrasi Fosfat dan Nitrogen pada Produksi Asam Sitrat Menggunakan Metode Solid State Fermentation (SSF). (Skripsi). Malang. Universitas Brawijaya Malang.
- Socol, C. R., Vandenberghe, L. P. S., Pandey, A. & Lebeault, J. 1999. Microbial Production of Citric Acid. *Brazilian Archives of Biology and Technology*; 42(3): 263 – 27.

- Syamsuri, A. A., Setiadi, T., Kushandayani, R., & Yunus, R. F. 2006. Pengaruh Kadar Air Substrat dan Konsentrasi Dedak Padi pada Produksi Asam Sitrat dari Ampas Tapioka Menggunakan *Aspergillus niger* ITBCCL74. Di dalam: Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 2006. Palembang, 19-20 Juli 2006. hlm 1–8.
- Ul Haq, I., Ashraf, H., Ali, S., Butt, W. A., Shafiq, K., Qadeer, M. A., & Iqbal, J. 2001. Effect of Mineral Nutrients on the Biosynthesis of Citric Acid by *Aspergillus niger* UV-6 Using Sucrose Salt Media. *Pakistan Journal of Botany*; 33: 535 – 540.
- Utomo, P. P. 2011. Pemanfaatan Nanas (*Ananas comosus*) sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol dengan Metode Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak. *Biopropal Industri*; 2(1): 1–6.
- Vandenbergh, L. P. S., Rodrigues, C., de Carvalho, J. C., Medeiros, A. B. P. & Soccol, C.R.. 2017. Production and Application of Citric Acid in Current Developments in Biotechnology and Bioengineering. p 557-575. Brazil: Federal University of Paraná.
- Wagestu, I. W. A., Antara, N. S., & Putra, G. P. P. 2016. Pengaruh pH Awal Media dan Lama Fermentasi terhadap Produksi Kalsium Sitrat dari Limbah Brem dengan Menggunakan *Aspergillus niger* ATCC 16404. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*; 4(4): 70 – 79.
- Yuwono, S. S. 2015. Jenis-jenis Nanas (Universitas Brawijaya). <http://darsatop.lecture.ub.ac.id/2015/05/jenis-jenis-nanas/>. 22 November 2022.
- Zafar, M., Arshad, F., Faizi, S., Anwar, Z., Imran, M., & Mehmood, R. T. 2020. HPLC Based Characterization of Citric Acid Produced from Indigenous Fungal Strain through Single and Co - Culture Fermentation. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*; 29: 1–6.