

## Rancang Bangun *Prototype Fermentor* dengan Dua Aerator untuk Mengembangbiakkan Ragi *Saccharomyces Cerevisiae*

M Hanif Alfitra<sup>1</sup>, Adam Wanjri<sup>1</sup>, Rita Youfa<sup>1</sup>, Regna Tri Jayanti<sup>1</sup>, Gusfiyesi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Teknologi Rekayasa Bioproses Energi Terbarukan, Politeknik ATI Padang

<sup>2</sup>Analisis Kimia, Politeknik ATI Padang

\*Corresponding author

\*Email: [gusfiyesi@gmail.com](mailto:gusfiyesi@gmail.com)

---

### Abstrak

Penelitian ini membahas tentang rancang bangun prototype fermentor dengan dua aerator untuk mengembangbiakkan ragi *Saccharomyces cerevisiae* menggunakan bahan baku molasses. Fermentor didesain berkapasitas enam liter dengan sistem pengadukan menggunakan pitched blade turbine serta dilengkapi dua aerator untuk meningkatkan suplai oksigen selama fermentasi *aerob*. Variabel yang diamati meliputi waktu fermentasi, pH, suhu, dan kadar brix. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan ragi tertinggi dicapai pada waktu fermentasi 72 jam dengan jumlah ragi sebesar  $1,51 \times 10^8$  sel/ml. Penggunaan dua aerator terbukti memberikan distribusi oksigen yang lebih merata dibandingkan satu aerator, sehingga meningkatkan efisiensi pertumbuhan ragi. Dengan demikian, fermentor yang dirancang dapat digunakan sebagai model pembelajaran dan penelitian lebih lanjut kedepannya dalam skala laboratorium terkait bioproses energi terbarukan.

**Kata kunci:** Fermentor, Aerator, *Saccharomyces cerevisiae*, Fermentasi *Aerob*, *Pitched Blade Turbine*

### Abstract

*This study discusses the design and development of a prototype fermentor with two aerators to cultivate *Saccharomyces cerevisiae* yeast using molasses as raw material. The fermentor was designed with a capacity of six liters, equipped with a pitched blade turbine mixing system and two aerators to increase oxygen supply during aerobic fermentation. The observed variables included fermentation time, pH, temperature, and brix level. The results showed that the highest yeast growth was achieved at 72 hours of fermentation with a cell count of  $1.51 \times 10^8$  cells/ml. The use of two aerators proved to provide more uniform oxygen distribution compared to one aerator, thereby increasing yeast growth efficiency. Thus, the designed fermentor can be used as a learning model and further laboratory research in renewable energy bioprocess technology.*

**Keywords:** *Fermentor, Aerator, Saccharomyces cerevisiae, Aerobic Fermentation, Pitched Blade Turbine*

---

## Pendahuluan

Bioetanol merupakan salah satu biofuel yang banyak dikembangkan karena sifatnya yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Bahan baku yang umum digunakan dalam proses produksi bioetanol adalah bahan yang mengandung gula atau pati seperti jagung, singkong, dan molasses. Molasses, sebagai hasil samping industri gula tebu, mengandung sukrosa, glukosa, dan fruktosa dalam jumlah tinggi sehingga

menjadi substrat potensial dalam proses fermentasi (Olbrich, 1963). Selain ketersediaannya yang melimpah, harga molasses relatif rendah, sehingga ekonomis untuk diaplikasikan dalam produksi bioetanol skala industri maupun penelitian laboratorium.

Proses fermentasi bioetanol melibatkan mikroorganisme yang berperan dalam mengubah gula menjadi etanol melalui jalur metabolik tertentu. Salah satu mikroorganisme yang paling banyak digunakan adalah *Saccharomyces cerevisiae*, karena memiliki toleransi tinggi terhadap kadar etanol, pH rendah, serta mampu beradaptasi dengan baik pada kisaran suhu 25–35°C (Lin & Tanaka, 2006). Mikroorganisme ini juga dikenal memiliki aktivitas fermentatif yang tinggi terhadap gula sederhana, menjadikannya pilihan utama dalam fermentasi molasses. Namun, keberhasilan fermentasi tidak hanya ditentukan oleh jenis mikroorganisme, melainkan juga oleh kondisi operasi seperti pH, suhu, pengadukan, dan ketersediaan oksigen (Hartina et al., 2014).

Faktor aerasi merupakan aspek penting dalam fermentasi *aerob* karena oksigen berperan sebagai akseptor elektron dalam respirasi sel, yang berpengaruh terhadap pembentukan energi (ATP) dan viabilitas sel ragi (Walker, 1998). Aerasi yang tidak optimal menyebabkan distribusi oksigen tidak merata sehingga menurunkan pertumbuhan biomassa dan efisiensi konversi gula.

Penelitian sebelumnya oleh Margono et al. (2018) menunjukkan bahwa penggunaan satu aerator dengan variasi kecepatan pengadukan 75–100 rpm menghasilkan jumlah ragi maksimum sebesar  $8,6 \times 10^7$  sel/ml pada kecepatan 100 rpm. Sementara itu, penelitian oleh Virdhalya et al. (2024) dan Sabrina (2015) juga menunjukkan bahwa waktu fermentasi optimal untuk pertumbuhan *S. cerevisiae* berada pada 72 jam.

Meskipun beberapa penelitian telah dilakukan dengan variasi kecepatan pengadukan dan aerasi tunggal, penggunaan dua aerator secara simultan dalam satu fermentor masih jarang dikaji. Penambahan aerator diharapkan dapat meningkatkan suplai oksigen terlarut serta memperbaiki homogenitas gas dalam media, yang pada akhirnya mampu meningkatkan laju pertumbuhan sel dan efisiensi fermentasi (Zhou et al., 2018). Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini difokuskan pada rancang bangun dan

pengujian *prototype* fermentor dengan dua aerator sebagai inovasi dalam meningkatkan efektivitas proses fermentasi *aerob* untuk pengembangbiakan ragi *Saccharomyces cerevisiae* menggunakan bahan baku molasses.

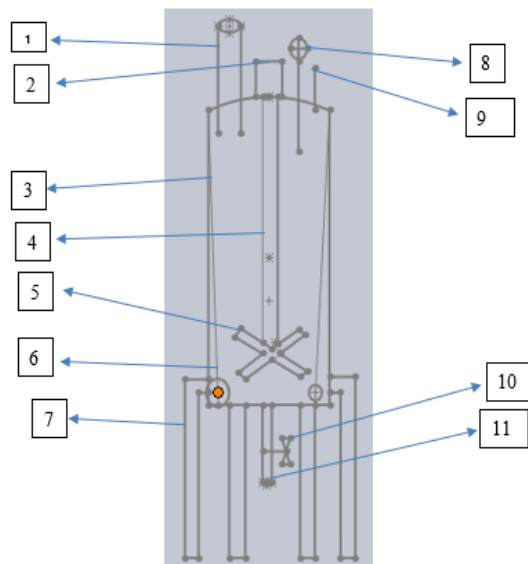
## Metode

### Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah molasses sebagai substrat fermentasi, mikroorganisme yang digunakan *Saccharomyces Cerevisiae* sebagai sumber ragi, urea dan  $MgSO_4$  sebagai sumber nutrisi.

### Peralatan

Percobaan ini dilakukan menggunakan fermentor berbahan *stainless steel* dengan dimensi diameter 16 cm dan tinggi 32 cm. Sistem dilengkapi dengan agitator dan aerator. Rangkaian peralatan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian fermentor fermentasi secara *aerob*

Spesifikasi peralatan sebagai berikut:

- |                       |                             |
|-----------------------|-----------------------------|
| 1. <i>Input</i> bahan | 7. Pijakan <i>fermentor</i> |
| 2. Dinamo             | 8. Termometer               |
| 3. <i>Fermentor</i>   | 9. <i>Airlock</i>           |
| 4. Batang pengaduk    | 10. <i>Valve</i>            |
| 5. Pengaduk           | 11. Output Sampel           |
| 6. <i>Aerator</i>     |                             |

## Prosedur

Proses fermentasi diawali dengan persiapan substrat berupa molases yang diencerkan menggunakan air dengan perbandingan 1:8 (air:molases). Selanjutnya disiapkan larutan nutrisi yang terdiri atas urea dengan konsentrasi 200 ppm dan  $MgSO_4$  sebesar 40 ppm, serta larutan ragi *Saccharomyces cerevisiae*. Setelah semua larutan siap, molases encer, aquadest, larutan nutrisi, dan larutan ragi dimasukkan ke dalam fermentor dan dicampur hingga homogen. Proses fermentasi kemudian dilakukan selama 3 hari untuk produksi, dengan kondisi yang dijaga sesuai kebutuhan fermentasi. Selama proses berlangsung, dilakukan pengukuran suhu, nilai °Brix, pH, serta jumlah sel secara berkala setiap 24 jam untuk memantau perkembangan fermentasi.

## Pengambilan Data

Pengambilan sampel pada fermentor 1 dilakukan setiap hari untuk fermentasi *aerobik* selama 3 hari parameter yang diamati yaitu pH, suhu, Brix, dan jumlah sel.

## Hasil dan Pembahasan

### Hasil Rancang Bangun Fermentor

Berikut adalah hasil rancangan alat yang dibuat pada penelitian ini:



Gambar 2. Hasil rancang bangun fermentor

Fermentor bioetanol berkapasitas enam liter telah berhasil dirancang untuk skala laboratorium. Kapasitas ini dipilih karena dinilai ideal, praktis, serta memudahkan proses *scale up* di masa mendatang. Fermentor digunakan sebagai alat utama dalam proses fermentasi *Saccharomyces cerevisiae* dengan substrat berbasis molasses. Bahan utama

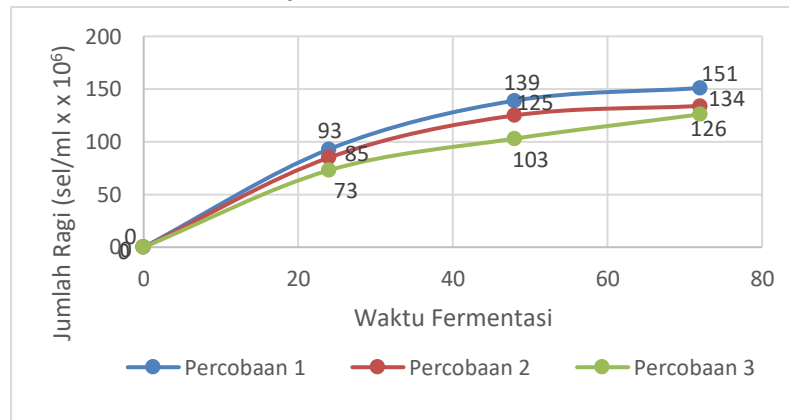
fermentor adalah stainless steel 347 setebal 0,8 mm yang tahan korosi dan mudah disterilisasi, sehingga sesuai untuk aplikasi bioproses.

Sistem pengadukan menggunakan *Pitched Blade Turbine* empat bilah yang menghasilkan pencampuran homogen dan mendukung proses aerasi selama fermentasi aerob. Desain fermentor juga mampu menjaga kestabilan suhu, pH, dan homogenitas larutan selama fermentasi berlangsung.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa fermentor berfungsi dengan baik tanpa kebocoran dan mampu mempertahankan kondisi operasi. Jumlah ragi yang dihasilkan mengalami peningkatan bertahap dari  $9,3 \times 10^7$  sel/ml pada 24 jam, menjadi  $1,39 \times 10^8$  sel/ml pada 48 jam, dan mencapai puncak  $1,51 \times 10^8$  sel/ml pada 72 jam. Peningkatan ini menunjukkan bahwa fermentor rancangan mampu menjaga stabilitas proses dan mendukung pertumbuhan ragi secara eksponensial hingga waktu fermentasi 72 jam.

### Perbandingan Pengaruh Waktu Fermentasi terhadap Jumlah Ragi

Waktu fermentasi merupakan salah satu parameter paling berpengaruh terhadap dinamika pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae*.



Gambar 3. Kurva Hubungan Waktu Terhadap Jumlah Ragi

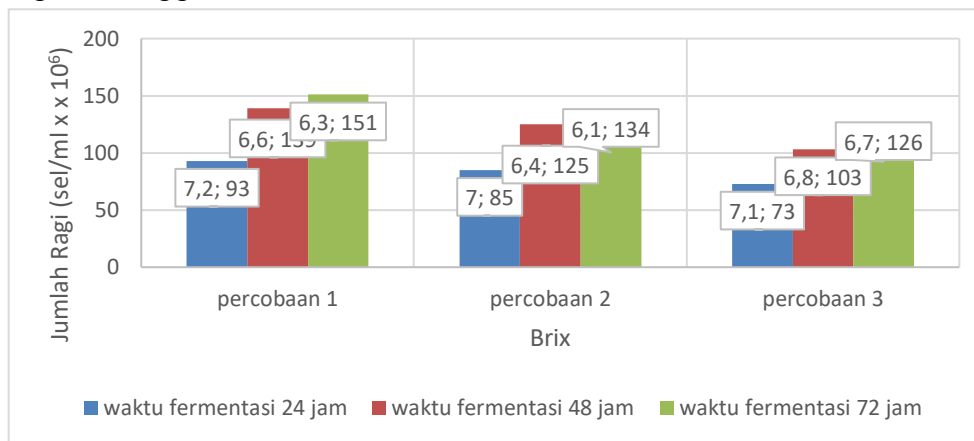
Berdasarkan hasil penelitian, jumlah ragi mengalami peningkatan signifikan seiring bertambahnya waktu fermentasi dari 24 hingga 72 jam. Pada jam ke-24, jumlah ragi mencapai  $9,3 \times 10^7$  sel/ml, meningkat menjadi  $1,39 \times 10^8$  sel/ml pada 48 jam, dan mencapai puncak  $1,51 \times 10^8$  sel/ml pada 72 jam. Setelah waktu tersebut, pertumbuhan ragi cenderung melambat karena sebagian besar sel telah memasuki fase stasioner.

Kondisi ini menunjukkan bahwa hingga 72 jam, aktivitas metabolisme ragi masih berada pada fase eksponensial dengan laju pembelahan sel yang optimal (Bailey & Ollis, 2010).

Fase optimum ini juga berkaitan dengan ketersediaan nutrisi dan oksigen dalam media fermentasi. Saat substrat gula masih mencukupi, *S. cerevisiae* menggunakan glukosa melalui respirasi aerob untuk menghasilkan energi dalam bentuk ATP, yang digunakan untuk biosintesis komponen sel (Lin & Tanaka, 2006). Namun, setelah 72 jam, konsumsi gula menurun dan produk metabolit seperti etanol serta asam organik mulai terakumulasi, menyebabkan kondisi lingkungan menjadi kurang ideal bagi pertumbuhan sel (Hartina et al., 2014). Oleh karena itu, waktu fermentasi optimum selama 72 jam dipandang paling efektif untuk menghasilkan biomassa ragi tertinggi dengan kondisi lingkungan yang masih mendukung aktivitas sel.

### Pengaruh Kadar Brix terhadap Jumlah Ragi

Kadar brix menggambarkan jumlah total padatan terlarut, terutama gula, yang menjadi sumber karbon bagi pertumbuhan mikroorganisme. Kadar brix pada penelitian ini diukur dengan menggunakan alat refraktometer.



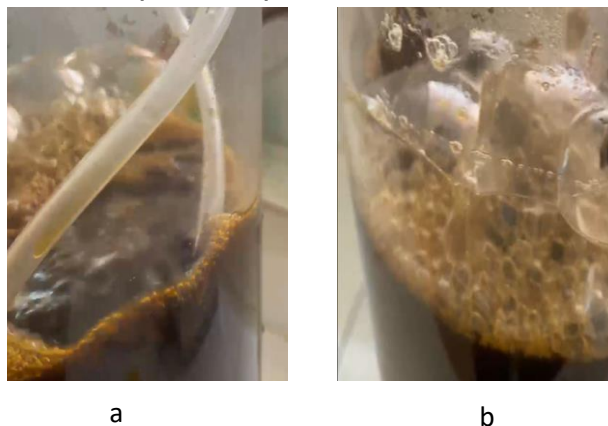
Gambar 4. Kurva Pengaruh Brix Terhadap Jumlah Ragi

Selama proses fermentasi berlangsung, kadar brix menunjukkan penurunan dari 7,2° menjadi 6,3°, menandakan bahwa ragi memanfaatkan gula dalam molasses sebagai substrat utama untuk metabolisme dan pembentukan biomassa. Penurunan kadar brix ini berbanding lurus dengan peningkatan jumlah ragi, karena semakin banyak gula yang dikonsumsi maka semakin tinggi pula energi yang dihasilkan untuk pembelahan sel (Dewi, 2017).

Namun demikian, kadar brix yang terlalu tinggi dapat menimbulkan tekanan osmotik berlebih pada dinding sel sehingga menghambat aktivitas enzim dan memperlambat pertumbuhan ragi. Sebaliknya, kadar brix yang terlalu rendah menyebabkan keterbatasan sumber karbon yang mengurangi laju pertumbuhan. Hal ini sejalan dengan pendapat Prescott & Dunn (1959) yang menyatakan bahwa konsentrasi gula optimal sangat penting untuk mempertahankan keseimbangan antara aktivitas enzimatik dan kebutuhan energi mikroorganismenya. Dengan demikian, pengendalian kadar brix pada kisaran moderat menjadi kunci agar proses fermentasi berlangsung stabil dan efisien.

### **Perbandingan Supply Oksigen Menggunakan Satu Aerator dan Dua Aerator**

Ketersediaan oksigen merupakan faktor penting dalam fermentasi aerob karena oksigen berperan sebagai akseptor elektron pada respirasi sel.



Gambar 5. Perbandingan oksigen yang dihasilkan oleh  
(a) satu aerator dan (b) dua aerator

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa penggunaan dua aerator menghasilkan distribusi oksigen yang lebih merata dibandingkan satu aerator. Pada sistem satu aerator, aliran udara terkonsentrasi pada satu sisi fermentor sehingga proses aerasi tidak optimal. Sebaliknya, sistem dua aerator menghasilkan pola gelembung udara yang lebih homogen di seluruh media, meningkatkan kadar oksigen terlarut dan efisiensi transfer gas (Zhou et al., 2018).

Peningkatan suplai oksigen ini berkontribusi terhadap percepatan fase eksponensial dan peningkatan jumlah biomassa ragi. Energi dalam bentuk ATP yang

dihasilkan dari respirasi aerob meningkat, sehingga aktivitas metabolisme dan pembentukan sel baru berlangsung lebih cepat (Walker, 1998). Selain itu, aerasi ganda juga membantu menjaga kestabilan pH serta mencegah terjadinya kondisi anaerob prematur yang dapat menghambat pertumbuhan ragi. Meski penggunaan dua aerator membutuhkan daya listrik lebih besar, hasilnya memberikan peningkatan signifikan terhadap produktivitas biomassa, yang sejalan dengan temuan Beugholt (2023) mengenai peningkatan viabilitas sel akibat intensitas aerasi tinggi.

### **Perbandingan Jumlah Ragi dengan Penelitian Sebelumnya**

Jumlah ragi maksimum yang diperoleh dalam penelitian ini adalah  $1,51 \times 10^8$  sel/ml pada waktu fermentasi 72 jam. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian Margono et al. (2018) sebesar  $8,6 \times 10^7$  sel/ml dan penelitian Virdhalya et al. (2024) sebesar  $8,8 \times 10^7$  sel/ml, keduanya menggunakan sistem fermentor dengan satu aerator. Sementara itu, penelitian Sabrina (2015) memperoleh hasil  $3,1 \times 10^7$  sel/ml dengan kondisi fermentasi serupa. Kenaikan jumlah ragi pada penelitian ini disebabkan oleh penerapan dua aerator dan sistem pengadukan *Pitched Blade Turbine* (PBT) pada kecepatan 100 rpm yang menghasilkan distribusi oksigen serta pencampuran lebih homogen (Darmadi, 2022).

Inovasi rancangan fermentor ini sejalan dengan teori Bailey & Ollis (2010) dan Stanbury et al. (2017), yang menyatakan bahwa peningkatan intensitas aerasi dan efisiensi pencampuran akan memperbaiki transfer massa gas-cair serta memperpanjang fase pertumbuhan eksponensial mikroorganisme. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat bukti bahwa sistem aerasi ganda dan desain pengaduk yang tepat dapat meningkatkan efisiensi fermentasi, produktivitas biomassa, serta menjadi acuan untuk pengembangan fermentor berskala laboratorium dalam bidang bioproses energi terbarukan.

### **Kesimpulan**

Penelitian ini berhasil dirancang dan diaplikasikan. *Fermentor* hasil rancang bangun dengan kapasitas total 6 liter dan volume kerja 4,8 liter berfungsi dengan baik dalam proses pengembangbiakan *saccharomyces cerevisiae* berbasis molases, ditunjukkan

dengan kemampuan menjaga kestabilan pH, suhu, dan homogenitas larutan selama fermentasi.

Pertumbuhan ragi tertinggi dicapai pada waktu fermentasi 72 jam dengan jumlah ragi yang didapat  $1,51 \times 10^8$  sel/ml, pH optimal 3,9, suhu optimal  $31^\circ\text{C}$ , serta terjadi penurunan kadar brix dari  $7,2^\circ$  menjadi  $6,3^\circ$  yang menunjukkan konsumsi gula secara aktif. Fermentor yang dirancang, dengan pengadukan menggunakan *pitched blade turbine* (PBT) dengan kecepatan 100 rpm dan dilengkapi 2 aerator pada saat berlangsungnya proses fermentasi secara aerob, terbukti mampu meningkatkan jumlah ragi yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang hanya menggunakan 1 aerator, di mana jumlah ragi maksimum yang diperoleh pada peneliti terdahulu yang hanya menggunakan 1 aerator yaitu  $8,8 \times 10^7$ . Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi pengaduk ber jenis *pitched blade turbine* (PBT) dan penggunaan 2 aerator memberikan suplai oksigen serta pencampuran yang lebih merata, sehingga proses pertumbuhan *saccharomyces cerevisiae* berlangsung lebih optimal.

### Daftar Referensi

- Bailey, J. E., & Ollis, D. F. (2010). *Biochemical Engineering Fundamentals*. McGraw-Hill.
- Beugholt, R. (2023). *Aeration Intensity and Yeast Viability in Industrial Fermentation Systems*. *Journal of Applied Biotechnology*, 14(2), 115–123.
- Darmadi, H. (2022). *Analisis Kinerja Pengaduk Pitched Blade Turbine pada Sistem Fermentasi Aerob*. *Jurnal Teknologi Proses*, 9(1), 42–49.
- Dewi, N. P. (2017). *Pengaruh Aerasi terhadap Pertumbuhan Saccharomyces cerevisiae dalam Fermentasi Molasses*. *Jurnal Rekayasa Proses*, 5(3), 87–95.
- Hartina, S., Nurhasanah, I., & Rachmawati, D. (2014). *Optimasi Kondisi Fermentasi Bioetanol Berbasis Molasses*. *Jurnal Bioteknologi Indonesia*, 10(2), 65–72.
- Lin, Y., & Tanaka, S. (2006). Ethanol fermentation from biomass resources: Current state and prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 69(6), 627–642.
- Margono, E., Fajri, M., & Ramadhan, S. (2018). *Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Pertumbuhan Ragi pada Fermentasi Molasses*. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 15(1), 11–18.
- Olbrich, H. (1963). *The Molasses*. Biotechnologie-Bibliothek. Berlin: Verlag Chemie.

- Prescott, S. C., & Dunn, C. G. (1959). *Industrial Microbiology*. McGraw-Hill.
- Sabrina, A. (2015). *Studi Waktu Fermentasi terhadap Perkembangan Saccharomyces cerevisiae pada Substrat Molasses*. *Jurnal Teknologi Kimia*, 7(2), 44–50.
- Stanbury, P. F., Whitaker, A., & Hall, S. J. (2017). *Principles of Fermentation Technology* (3rd ed.). Elsevier.
- Virdhalya, N., Saputra, A., & Tanjung, A. (2024). *Studi Variasi Aerasi terhadap Produksi Biomassa Ragi Saccharomyces cerevisiae pada Fermentasi Molasses*. *Jurnal Rekayasa Proses dan Energi Terbarukan*, 12(1), 25–32.
- Walker, G. M. (1998). *Yeast Physiology and Biotechnology*. Wiley-Blackwell.
- Zhou, Y., Zhang, X., & Chen, J. (2018). The effect of aeration on yeast growth and metabolic regulation. *Biochemical Engineering Journal*, 132, 45–52.