



Produksi Protein Sel Tunggal dari Kultur *Saccharomyces cerevisiae* dengan Medium Limbah Cair Tahu

Milwani Harahap¹, Yayuk Putri Rahayu², Minda Sari Lubis³, Rafita Yuniarti⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Sarjana Farmasi, Universitas Muslim Nusantara Al-Washliyah

Korespondensi penulis: milwaniharahap@gmail.com¹

Abstract. Single Cell Protein (PST) is the term used for proteins originating from microbes such as fungi, algae, yeast and bacteria. Tofu liquid waste is an alternative medium that has the easiest source of carbohydrates, so it has the potential for the growth of *Saccharomyces cerevisiae*. The aim of this research is to determine whether tofu liquid waste can produce single cell protein from *S. cerevisiae* culture and to determine differences in protein production with the addition of nutrients to the fermentation medium. The research method used is experimental research. The independent variables are MFLT1 medium (Tofu Liquid Waste Fermentation Medium with the addition of KH_2PO_4 nutrients and sugar) and MFLT2 medium (Tofu Liquid Waste Fermentation Medium with the addition of KH_2PO_4 nutrients; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and sugar); as well as fermentation time on days 0, 2, 4 and 6. The dependent variables are analysis of protein content, cell dry weight, glucose content, pH and temperature. The data from this research were analyzed statistically using the two way Anova method. The results of this research obtained the highest protein content in MFLT2 medium at 0.52% (day 2); cell dry weight 0.49 grams; glucose level 1.3345%; pH 5.0 and temperature 25.5 °C. Meanwhile, in MFLT1 medium, the highest protein content was obtained at 0.35% (4th day); cell dry weight 0.363 grams; glucose level 1.3342%; pH 4.7 and temperature 28.8 °C. From the research that has been carried out, it can be concluded that tofu liquid waste can produce single cell protein from *S. cerevisiae* cultures and there are differences in protein production results with the addition of nutrients to the medium, where the results of the protein content in the MFLT2 medium are higher than the protein content in the MFLT1 medium.

Keywords: Single Cell Protein, Tofu Liquid Waste, Fermentation, *Saccharomyces cerevisiae*

Abstrak. Protein Sel Tunggal (PST) adalah istilah yang digunakan untuk protein yang berasal dari mikrobia seperti jamur, alga, khamir, dan bakteri. Limbah cair tahu merupakan salah satu media alternatif yang memiliki sumber karbohidrat paling mudah diperoleh, sehingga berpotensi untuk pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui limbah cair tahu dapat menghasilkan protein sel tunggal dari kultur *S. cerevisiae* dan untuk mengetahui perbedaan produksi protein dengan penambahan nutrisi pada medium fermentasi. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental. Variabel bebas yaitu medium MFLT1 (Medium Fermentasi Limbah Cair Tahu dengan penambahan nutrisi KH_2PO_4 dan gula) dan medium MFLT2 (Medium Fermentasi Limbah Cair Tahu dengan penambahan nutrisi KH_2PO_4 ; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dan gula); serta lama fermentasi hari ke-0, 2, 4, dan 6. Variabel terikat yaitu analisis kadar protein, berat kering sel, kadar glukosa, pH dan suhu. Data hasil penelitian ini dianalisis statistik dengan metode *two way* Anova. Hasil penelitian ini diperoleh kadar protein tertinggi pada medium MFLT2 sebesar 0,52% (hari ke-2); berat kering sel 0,49 gram; kadar glukosa 1,3345%; pH 5,0 dan suhu 25,5 °C. Sedangkan pada medium MFLT1 diperoleh kadar protein tertinggi sebesar 0,35% (hari ke-4); berat kering sel 0,363 gram; kadar glukosa 1,3342%; pH 4,7 dan suhu 28,8 °C. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa limbah cair tahu dapat menghasilkan protein sel tunggal dari kultur *S. cerevisiae* dan terdapat perbedaan hasil produksi protein dengan penambahan nutrisi pada medium, dimana hasil kadar protein pada medium MFLT2 lebih tinggi dibandingkan kadar protein pada medium MFLT1.

Kata kunci: Protein sel tunggal, limbah cair tahu, fermentasi, *Saccharomyces cerevisiae*

LATAR BELAKANG

Proses produksi tahu akan menghasilkan produk samping yaitu limbah cair. Dihasilkan dari proses perendaman kedelai dan proses akhir pemisahan ampas tahu (Damayanti et al., 2004). Biasanya hanya dibuang begitu saja ke sungai atau diendapkan (Darsono, 2007). Hal ini tentu berpotensi menimbulkan polusi yang dapat menurunkan kualitas lingkungan karena

menyebabkan rusaknya ekosistem yang ada dalam suatu perairan (Shidarta et al., 2000). Dampak lain dari pembuangan ke sungai adalah potensi terserang diare, penyakit kulit, dan penyakit lainnya bagi masyarakat yang memanfaatkan sungai yang tercemar ini (Damayanti et al., 2004). Oleh karena itu, perlu dilakukan penanganan yang tepat dan benar untuk menanggulangi pencemaran yang disebabkan. Salah satu cara penanganan melimpahnya adalah secara mikrobiologis, yaitu dengan memanfaatkan sebagai substrat pertumbuhan mikrobia. Kandungan unsur organik dalam limbah tahu yang cukup tinggi dapat digunakan oleh mikrobia sebagai sumber C maupun sumber N. Sumber karbon digunakan sebagai sumber energi dan sumber nitrogen digunakan dalam pembentukan biomassa mikrobia selama proses metabolisme (Manfaati, 2010). Menurut Manfaati (2010) bahan-bahan yang terdapat dalam limbah cair tahu mengandung antara lain protein (40-60%), karbohidrat (25- 50%), dan lemak (10%). Dapat dimanfaatkan lebih lanjut sebagai substrat pertumbuhan mikrobia seperti dalam pembuatan produk protein sel tunggal (PST).

Protein sel tunggal merupakan produk biomassa berkadar protein tinggi yang berasal dari mikrobia. Mikrobia penghasil protein sel tunggal (PST) umumnya tumbuh pada limbah yang memiliki unsur karbon dan nitrogen yang biasanya terdapat dalam limbah hasil industri. Komponen utama PST adalah asam amino dan mineral. Protein sel tunggal (PST) dapat digunakan sebagai pengganti protein dari sumber konvensional seperti hasil pertanian, perikanan, dan peternakan (Batubara, 2009) Mikrobia penghasil protein sel tunggal (PST) dapat ditumbuhkan dalam berbagai macam limbah cair organik. Penelitian sebelumnya di antaranya adalah penggunaan substrat dari limbah pengalengan nanas oleh *Candida utilis* NRLL Y-900 (Nigam, 1998), whey keju oleh *Kluyveromyces marxianus* PTCC 5193 (Somaye et al., 2008), ampas tebu atau bagase oleh *Saccharomyces cerevisiae* (Susanti et al., 1997) dan dari limbah cair tepung tapioka oleh *Rhodospseudomonas palustris* (Batubara, 2009). Penanggulangan secara mikrobiologis ini diharapkan dapat memberikan keuntungan yaitu untuk produksi protein sel tunggal dan mengatasi masalah pencemaran lingkungan yang disebabkan.

Berdasarkan hasil analisis penelitian yang telah dilakukan oleh (Maryana et al, 2016), terhadap kemampuan tumbuh jamur *Rhizopus oryzae* pada medium, maka kemungkinan besar ini dapat dimanfaatkan sebagai substrat pertumbuhan mikroba baik bakteri, yeast, maupun kapang karena kandungan karbon, nitrogen, dan mineral yang masih tinggi. Selain itu mikroba penghasil protein sel tunggal umumnya tumbuh pada limbah yang mengandung karbon, dan nitrogen yang tinggi.

Berdasarkan uraian diatas peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang produksi protein sel tunggal dari kultur *saccharomyces cerevisiae* dengan memanfaatkan medium sebagai mediumnya.

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian eksperimental. Untuk mengetahui hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat. Dimana variabel bebas yaitu perlakuan penambahan nutrisi dan lama fermentasi untuk melihat variabel terikat yaitu analisis kadar protein, analisis berat kering sel, analisis kadar glukosa, analisis pH dan suhu.

Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua variabel yaitu:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan adalah media fermentasi MFLT1 (limbah cair tahu dengan penambahan nutrisi KH_2PO_4 dan gula), dan media fermentasi MFLT2 (limbah cair tahu dengan penambahan nutrisi KH_2PO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dan gula), dan lama fermentasi yaitu hari ke-0, 2, 4, 6 hari.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat yang digunakan adalah analisis kadar protein, analisis berat kering sel, analisis kadar glukosa, analisis pH dan suhu.

Parameter Penelitian

Parameter pada penelitian ini terdiri dari analisis kadar protein untuk mengukur kadar protein dengan menggunakan metode Kjeldahl, analisis berat kering sel, analisis glukosa dengan menggunakan refraktometer, analisis pH dan suhu dengan menggunakan pH meter.

Jadwal dan Lokasi Penelitian

Jadwal Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Januari hingga bulan April 2022.

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dilaboratorium yang berbeda. Fermentasi protein sel tunggal dilakukan dilaboratorium Mikrobiologi Fakultas Farmasi Universitas Muslim Nusantara Al-Washliyah Medan. Pengukuran kadar protein dilakukan di laboratorium Biokimia Universitas Sumatera Utara. Pengukuran berat kering sel, pH, dan suhu dilakukan dilaboratorium terpadu Fakultas Farmasi Universitas Muslim Nusantara Al-Washliyah Medan.

Bahan dan Alat

Bahan

Aquadest, gula pasir (sukrosa), biakan murni khamir *Saccharomyces cerevisiae*, 0,1 % KH_2PO_4 , 0,1% $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, selenium, asam sulfat pekat, NaOH 30%, indikator metil merah, indikator metil biru, asam klorida 0,1 N, H_3BO_3 3%, selenium.

Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah beaker glass, inkubator, autoklaf, erlenmeyer, kawat ose, cling wrap, pisau cutter, timbangan, ph meter, cawan petri, corong, *laminar air flow*, panci *stainless steel*, *refractometer*, cawan porselein, pipet, batang pengaduk, gelas ukur.

Pembuatan Reagen

1. Asam Klorida (HCl) 0,1 N

Pembuatan larutan HCl 0,1 N sesuai dengan prosedur yang tercantum pada Farmakope Edisi III Tahun 1979. Encerkan 8,3 ml $\text{HCl}_{(p)}$ dengan air suling hingga 1000 ml.

2. Asam Borat (H_3BO_3) 3%

Pembuatan larutan Asam Borat (H_3BO_3) 3% sesuai dengan prosedur yang tercantum pada Farmakope Edisi III Tahun 1979. Dilarutkan 3 g H_3BO_3 dengan air suling hingga 100 ml.

3. Natrium Hidroksida (NaOH) 30%

Pembuatan larutan Natrium Hidroksida (NaOH) 30% sesuai dengan prosedur yang tercantum pada Farmakope Edisi III Tahun 1979. Dilarutkan 30 g NaOH dengan air suling hingga 100 ml.

4. Indikaor Metil Merah 0,2%

Ditimbang 0,2 g indikator metil merah dilarutkan dengan etanol 96% sampai 100 ml.

5. Indikator Metil Biru 0,2%

Ditimbang 0,2 g indikator metil biru dilarutkan dengan etanol 96% sampai 100 ml.

6. Indikator Tashiro

Dicampurkan 2 bagian indikator metil biru 0,2% dan 1 bagian indikator metil merah 0,2% dalam etanol 96%.

Prosedur Penelitian

Pengambilan Sampel

Diambil dari pembuatan tahu kedelai berskala *home industry* di Karang Rejo. Sebanyak 1 liter dimasukkan ke dalam jerigen bersih dan ditutup rapat.

Pengolahan Sampel

Sampel limbah cair tahu disaring kemudian filtratnya dimasukkan ke dalam beaker kemudian dipasteurisasi dengan cara limbah dipanaskan pada suhu 60 °C selama 30 menit, didinginkan dalam lemari es selama 30 menit dan dibiarkan pada suhu kamar 23 °C selama 24 jam. Proses pasteurisasi ini dilakukan sebanyak tiga kali (Somaye dkk, 2008).

Penyiapan Formulasi Medium Fermentasi

Tabel 1. Formulasi Medium Fermentasi Limbah Cair Tahu

Komposisi	Medium Fermentasi	
	MFKN1	MFKN2
KH ₂ PO ₄	0,1% (0,2 g)	0,1% (0,2 g)
(NH ₄) ₂ SO ₄	-	0,1% (0,2 g)
Gula	2% (4g)	2% (4g)
Filtrat Limbah Cair Tahu	ad 200 mL	ad 200 ml

Pembuatan medium fermentasi dilakukan dengan cara erlenmeyer dikalibrasi terlebih dahulu kemudian disterilkan. Erlenmeyer pertama yang sudah steril dimasuk kan nutrisi KH₂PO₄ 0,1% dari 200 mL yaitu sebanyak 0,2 gram, ditambahkan gula pasir 2% dari 200 mL yaitu sebanyak 4 gram, ditambahkan filtrat limbah cair tahu yang sudah steril sampai tanda batas kalibrasi (MFLT1), ditambahkan NaOH sampai pH dari medium fermentasinya 5, kemudian disterilkan dengan cara diautoklaf dengan suhu 121°C selama 15 menit, kemudian didinginkan dengan cara dibiarkan disuhu ruang.

Erlenmeyer kedua yang sudah steril dimasuk kan nutrisi KH₂PO₄ 0,1% dari 200 mL yaitu sebanyak 0,2 gram, (NH₄)₂SO₄ 0,1% dari 200 mL yaitu sebanyak 0,2 gram ditambahkan gula pasir 2% dari 200 mL yaitu sebanyak 4 gram, ditambahkan filtrat limbah cair tahu yang sudah steril sampai tanda batas kalibrasi (MFLT2), ditambahkan NaOH sampai pH dari medium fermentasinya 5, kemudian disterilkan dengan cara diautoklaf dengan suhu 121°C selama 15 menit, kemudian didinginkan dengan cara dibiarkan disuhu ruang.

Sumber Isolat

Isolat bakteri *Saccharomyces cerevisiae* berasal dari biakan murni yang diperoleh dari marchgalery Kabupaten Jember-Jombang, Jawa Timur.

Identifikasi Khamir *Saccharomyces cerevisiae*

Untuk mengidentifikasi khamir *Saccharomyces cerevisiae* berdasarkan Cappucino (2002) dengn sedikit modifikasi dimana objek glass dibersihkan dengan alkohol hingga bebas lemak, kemudian dipanaskan pada nyala api bunsen atau api spiritus. *Saccharomyces cerevisiae* diambil secara aseptis menggunakan kawat ose, kemudian ditaruh keatas objek glass

yang ditetesi sedikit air kemudian ditutup deck glass. Diamati struktur khamir dengan menggunakan mikroskop, dimulai dari perbesaran rendah kemudian ke perbesaran tinggi (Cappucino, 2002).

Regenerasi Khamir

Diambil satu koloni khamir *Saccharomyces cerevisiae* dengan menggunakan jarum ose steril, lalu ditanamkan pada media Nutrient Potato Dextrose dengan menggores, setelah itu diinkubasi dalam inkubator pada suhu 36 °C selama 18-24 jam (Silaban, 2009).

Penyiapan Larutan NaCl 0.9%

Komposisi : Natrium klorida 0.9 g
Air suling steril ad 100 ml

Ditimbang sebanyak 0,9 gram Natrium klorida lalu dilarutkan dalam air suling steril sedikit demi sedikit dalam labu takar 100 mL sampai larut sempurna. Ditambahkan air suling steril sampai garis tanda, dimasukkan dalam Erlenmeyer steril yang bertutup lalu disterilkan pada autoklaf suhu 121 °C tekanan 1 atm selama 15 menit.

Penyiapan Suspensi Standar Mc. Farland 0,5

Suspensi standar Mc. Farland 0,5 menunjukkan konsentrasi kekeruhan suspensi khamir sama dengan $1,5 \times 10^8$ CFU/mL.

Komposisi : Larutan asam sulfat 1% 9.95 mL
 Larutan barium klorida 1,1% 0.05 mL

Cara pembuatan :

Kedua larutan dicampurkan dalam labu tentu ukur 100 mL steril, dikocok sampai homogen dan ditutup. Apabila kekeruhan hasil suspensi khamir sama dengan kekeruhan suspensi standar Mc. Farland maka konsentrasi khamir 10^8 CFU/mL.

Tujuan dari pembuatan suspensi larutan Mc. Farland adalah sebagai referensi untuk menyesuaikan kekeruhan khamir suspensi sehingga jumlah khamir dalam kisaran yang diberikan untuk membakukan mikroba pengujian (Fitri, 2015).

Penyiapan suspensi khamir *Saccharomyces cerevisiae*

Pembuatan suspensi khamir dilakukan dengan menggunakan NaCl fisiologis 0.9%. Suspensi dibuat dengan cara beberapa ose kultur khamir uji dimasukkan kedalam NaCl fisiologis 0.9% lalu divortex hingga homogen. Hasilnya dibandingkan dengan standar Mc.Farland. (Lay, 1994).

Pembuatan starter

Pembuatan starter dilakukan dengan cara diambil 10% dari 200 mL media fermentasi yang steril yaitu sebanyak 20 mL, dimasukkan kedalam 2 erlenmeyer yang berbeda. Kemudian

ditambahkan 1 ose isolat mikroba *Saccharomyces cerevisiae*. Diinkubasi selama 2 hari pada suhu 30 °C (Pawignya, 2011).

Proses Fermentasi

Proses fermentasi dilakukan dengan cara media fermentasi yang terdapat dalam erlemeyer pertama dan sudah diberi perlakuan, ditambahkan starter yang sudah diinkubasi selama 2 hari dan ditutup rapat, kemudian diinkubasi selama 6 hari dan dianalisis kadar protein, berat kering sel, kadar glukosa, pH dan suhu pada hari 0, 2, 4, 6 (Pawignya, 2011) .

Proses fermentasi dilakukan dengan cara media fermentasi yang terdapat dalam erlemeyer kedua dan sudah diberi perlakuan, ditambahkan starter yang sudah diinkubasi selama 2 hari dan ditutup rapat, diinkubasi selama 6 hari dan dianalisis kadar protein, berat kering sel, kadar glukosa, pH dan suhu pada hari 0, 2, 4, 6 (Pawignya, 2011).

Analisis Kadar Protein

Media fermentasi ditimbang sebanyak 1 g kemudian dimasukkan kedalam beaker labu kjeldahl lalu ditambahkan selenium sebanyak 0,2 g dan H₂SO_{4(P)} 98% sebanyak 15 ml. setelah itu dipanaskan diatas kjeldahl apparatus sehingga diperoleh larutan berwarna bening kehijauan. Larutan tersebut kemudian didinginkan dan dimasukkan kedalam labu alas. Lalu ditambahkan aquadest sebanyak 100 ml dan NaOH_(aq) 30% sampai ph menjadi basa. Kemudian didestilasi selama beberapa menit dan destilat yang diperoleh ditampung dalam erlenmeyer yang telah berisi H₃BO₃ 3% dan indikator tashiro sehingga diperoleh larutan berwarna hijau. Larutan hijau yang diperoleh kemudian dititrasi dengan larutan standar HCl_(aq) 0,1 N hingga berubah warna menjadi larutan ungu. Kemudian dihitung kadar proteinnya (SNI, 1992).

Kadar protein akan dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\%P = \frac{(V_s - V_B) \times N_{HCl} \times BM_{Nitrogen} \times f_k}{m \times 1000} \times 100\% \text{ (Maryana, 2016).}$$

Analisis Berat Kering Sel

Cawan porselein dibersihkan kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam. Cawan porselein didinginkan dalam desikator selama 30 menit, kemudian ditimbang untuk mengetahui beratnya. Pengukuran biomassa. Perhitungan biomassa bakteri dilakukan dengan menentukan berat kering sel bakteri. Dimasukkan 1 ml bakteri yang diambil dari media perlakuan kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 6000 rpm selama 5 menit. Isolat yang disentrifugasi akan menghasilkan supernatan dan endapan sel bakteri. Kemudian endapan sel bakteri tersebut di masukkan kedalam cawan porselein kemudian di oven dengan suhu 100°C selama 30 menit kemudian didinginkan disuhu ruang dan ditimbang berat keringnya. Berat kering yang didapatkan dikurang dengan berat kosong cawan porselein maka

didapat biomassa bakteri tersebut (Nasution et al, 2021).

Analisis Kadar Glukosa

Kadar glukosa yang terdapat pada medium fermentasi diukur dengan alat refraktometer. Dipipet medium fermentasi dan diteteskan ke alat refraktometer sampai lensa indeks biasanya tertutup. Kemudian dicatat kadar glukosanya.

Analisis pH dan Suhu

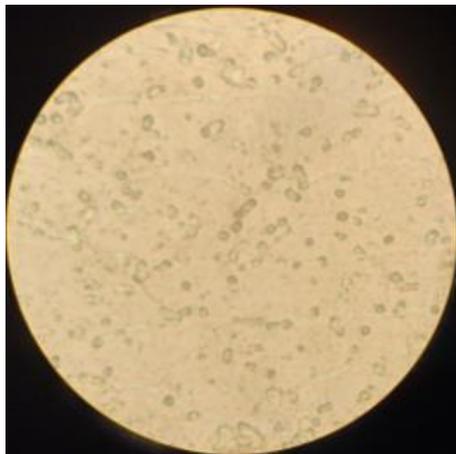
Analisis pH dan Suhu dilakukan menggunakan alat pH meter dengan cara dimasukkan pH meter kedalam medium fermentasi dan dicatat hasilnya.

Analisis Data

Data yang diamati meliputi kadar protein produk khamir *Saccharomyces cerevisiae* dan berat kering sel pada media kultur dan media pemeliharaan lingkungan dilakukan dengan analisis sidik ragam (ANOVA), setelah itu dilakukan uji normalitas sebaran dan homogenitas ragam error. Jika diperoleh perbedaan signifikan diantara setiap perlakuan maka dilanjutkan dengan uji wilayah ganda dari Dunca/DMRT (Duncan's Multiple Range Test) Untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan dan perlakuan mana yang memberikan pengaruh terbaik (Gomez, 1995).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Identifikasi *Saccharomyces cerevisiae*



Gambar 1. *Saccharomyces cerevisiae* perbesaran 100x

Hasil identifikasi *Saccharomyces cerevisiae* secara mikroskopis menunjukkan bahwa sel khamir memiliki ciri berbentuk oval, satu sel memiliki satu nukleus dan dari kumpulan sel menunjukkan terdapat sel tunggal dan berpasangan. Reproduksi aseksual dilakukan dengan pertunasan multilateral. Ciri-ciri ini sesuai dengan Muhibuddin et al. (2016) yang

mendeskripsikan bahwa sel khamir *S. cerevisiae* berbentuk bulat sampai oval dan multilateral budding.

Reproduksi *S. cerevisiae* dilakukan dengan membentuk tunas dan spora seksual (Fardiaz, 1992; Jutono dkk., 1980). Menurut Martinez (2004), *S.cerevisiae* merupakan organisme uniseluler yang memiliki sifat fisiologis antara lain bersifat fluktuatif anaerob, tidak memiliki miselium sel, sel berbentuk oval atau bulat, diameter sel berkisar 5-10 μ m, dinding sel tersusun atas β -1,6 glukukan dan mannan dan bereproduksi secara pertunasan (budding).

Hasil Analisis Kadar Protein

Tabel 2. Hasil Analisis Kadar Protein

Media Fermentasi	Kadar Protein (%)			
	Fermentasi Hari ke-			
	H0	H2	H4	H6
MFLT1	0,55	0,29	0,35	0,29
MFLT2	0,39	0,52	0,27	0,21

Keterangan :

MFLT1 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH_2PO_4 + Gula

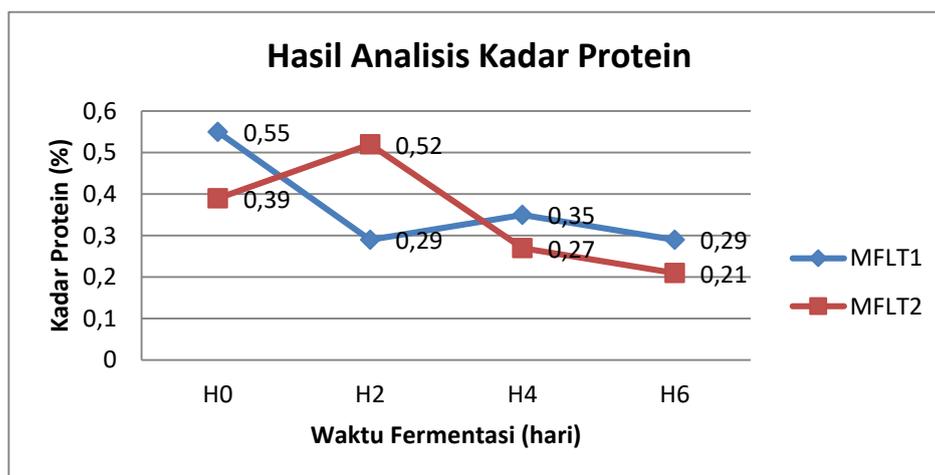
MFLT2 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH_2PO_4 + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ + Gula

H0 : Fermentasi Hari ke-0

H2 : Fermentasi Hari ke-2

H4 : Fermentasi Hari ke-4

H6 : Fermentasi Hari ke-6



Gambar 2. Grafik hubungan lama fermentasi terhadap kadar protein

Keterangan :

MFLT1 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH_2PO_4 + Gula

MFLT2 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH_2PO_4 + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ + Gula

Gula

H0 : Fermentasi Hari ke-0

H2 : Fermentasi Hari ke-2

H4 : Fermentasi Hari ke-4

H6 : Fermentasi Hari ke-6

Hasil kadar protein pada lama fermentasi hari ke-0 pada MFLT1 sebanyak 0,55%, sedangkan pada MFLT2 diperoleh kadar protein sebanyak 0,39%. Pada lama fermentasi hari ke-2 kadar protein mengalami penurunan baik pada MFLT1 maupun pada MFLT2 diperoleh kadar protein sebanyak 0,29% dan 0,52% hal ini dikarenakan pertumbuhan *saccharomyces cerevisiae* mengalami fase adaptasi, yang dimana pada fase ini *S. cerevisiae* menyesuaikan diri dengan lingkungan barunya dan belum mengadakan perbanyakan sel. Pada lama fermentasi hari ke-4 kadar protein mengalami peningkatan baik MFLT1 maupun pada MFLT2 diperoleh kadar protein sebanyak 0,35% dan 0,27%. Pada lama fermentasi hari ke-6 diperoleh kadar protein MFLT1 dan MFLT2 yang dimana pada MFLT1 dan MFLT2 kadar protein yang diperoleh mengalami penurunan kadar protein yakni 0,29% dan 0,21% hal ini dikarenakan pada MFLT1 dan MFLT2 pertumbuhan *S. cerevisiae* memasuki fase kematian dipercepat, jumlah sel-sel yang mati lebih banyak daripada sel-sel yang masih hidup. Peningkatan protein diduga karena adanya penambahan protein yang disumbangkan oleh sel mikroba akibat pertumbuhannya yang menghasilkan produk protein sel tunggal (PST) atau biomassa sel yang mengandung sekitar 40-65% protein (Krisnan *et al.*, 2005)

Hasil kadar protein tertinggi yang diperoleh dari media fermentasi MFLT2 yaitu 0,52% pada lama fermentasi hari ke-2. Sedangkan pada media fermentasi MFLT1 diperoleh kadar protein tertinggi sebanyak 0,35% pada lama fermentasi hari ke-4. Sehingga diperoleh perbandingan bahwa media fermentasi MFLT2 dapat menghasilkan kadar protein daripada media fermentasi MFLT1. Hal ini berhubungan dengan ketersediaan nutrisi dalam medium. Menurut Fardiaz (1992), semakin baik nutrisi di dalam substrat tempat tumbuhnya, maka pertumbuhan sel semakin cepat yang akan meningkatkan kadar protein sel. Selain itu, kadar protein sel dipengaruhi oleh waktu pembiakan. Menurut Kuswardani dan Wijajaseputra (1998) waktu pembiakan yang terlalu singkat akan menghasilkan PST dalam jumlah rendah karena biokonversi komponen medium belum optimal. Sedangkan waktu pembiakan yang terlalu lama akan menyebabkan penurunan protein yang terakumulasi dalam PST akibat autolisis untuk memenuhi kebutuhan energinya sehubungan dengan ketersediaan nutrisi dalam medium yang semakin tidak mencukupi.

Selama fermentasi berjalan pada hari ke-4 *S. cerevisiae* mengalami pertumbuhan yang cepat karena nutrisi yang terkandung dalam medium tersedia dalam jumlah yang berlebih untuk dimanfaatkan *S. cerevisiae* bagi pertumbuhannya. *S. cerevisiae* memanfaatkan protein, karbon, dan mineral dalam medium sebagai substrat metabolisme untuk sintesis komponen sel. Protein, karbon, dan mineral tersebut dapat diperoleh dari ekstrak khamir, pepton, dekstrosa, limbah kulit nanas. Menurut Machud dkk. (1989), peningkatan jumlah sel dan massa sel menandai adanya pertumbuhan mikroorganisme. Kemudian menurut Fardiaz (1987), semakin tinggi kecepatan pertumbuhan semakin banyak jumlah massa sel. Hasil analisis kadar protein dapat dilihat pada lampiran 6.

Hasil Analisis Berat Kering Sel

Tabel 3. Hasil Analisis Berat Kering Sel

Media Fermentasi	Berat Kering Sel (g)			
	Fermentasi hari ke-			
	H0	H2	H4	H6
MFLT1	0,529	0,286	0,363	0,253
MFLT2	0,265	0,49	0,253	0,158

Keterangan :

MFLT1 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH_2PO_4 + Gula

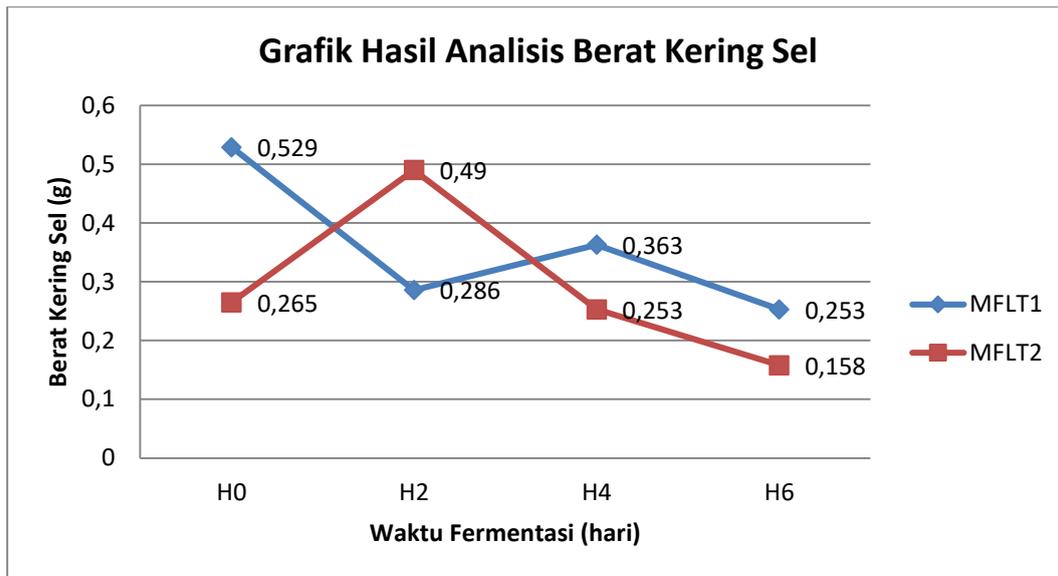
MFLT2 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH_2PO_4 + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ +
Gula

H0 : Fermentasi Hari ke-0

H2 : Fermentasi Hari ke-2

H4 : Fermentasi Hari ke-4

H6 : Fermentasi Hari ke-6



Gambar 3. Grafik hubungan antara lama fermentasi dengan hasil pengukuran berat kering sel

Keterangan :

MFLT1 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH_2PO_4 + Gula

MFLT2 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH_2PO_4 + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ + Gula

H0 : Fermentasi Hari ke-0

H2 : Fermentasi Hari ke-2

H4 : Fermentasi Hari ke-4

H6 : Fermentasi Hari ke-6

Hasil analisis berat kering sel tertinggi terdapat pada MFLT2 pada fermentasi hari ke-2 sedangkan pada MFLT1 didapat hasil berat kering sel tertinggi pada fermentasi hari ke-0. Berat kering sel dipengaruhi oleh medium pertumbuhan dan dapat dilihat pada tabel dan gambar 3 berat kering sel optimum didapat pada hari ke-2 pada MFLT2, sedangkan berat kering sel optimum pada MFLT1 didapat pada hari ke-4.

Pengaruh perbedaan penambahan nutrisi dan lama fermentasi berpengaruh secara signifikan terhadap berat kering sel yang dihasilkan dalam proses fermentasi seperti terlihat pada Tabel 2 dan Gambar 3.

Kemampuan tumbuh jamur *Saccharomyces cerevisiae* pada medium, maka kemungkinan besar limbah cair ini dapat dimanfaatkan sebagai substrat pertumbuhan mikroba baik bakteri, yeast, maupun kapang karena kandungan karbon, nitrogen, dan mineral yang masih tinggi (Manfaati, 2010). Selain itu, mikroba penghasil protein sel tunggal umumnya tumbuh pada limbah yang mengandung karbon, dan nitrogen yang tinggi (Nigam, 1998;

Batubara, 2009).

Jamur *Saccharomyces cerevisiae* ini merupakan salah satu jenis jamur non patogen yang dapat mengurai lemak kompleks menjadi trigliserida dan asam amino, selain itu jamur ini juga mampu menghasilkan protease. Karena jamur ini bersifat aerob, oleh karena itu harus cukup mendapat oksigen agar dapat tumbuh optimal.

Selain itu dalam keadaan aerob jamur ini dapat mengubah karbon, nitrogen, dan mineral sebagai nutrisi sehingga dapat menghasilkan protein sel tunggal (Marx, 1991).

Hasil Analisis Kadar Glukosa

Tabel 4. Hasil Analisis Kadar Glukosa

Media Fermentasi	Kadar Glukosa (%)			
	Fermentasi hari ke-			
	H0	H2	H4	H6
MFLT1	1,3349	1,3344	1,3342	1,3339
MFLT2	1,3348	1,3345	1,3336	1,3332

Keterangan :

MFLT1 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH_2PO_4 + Gula

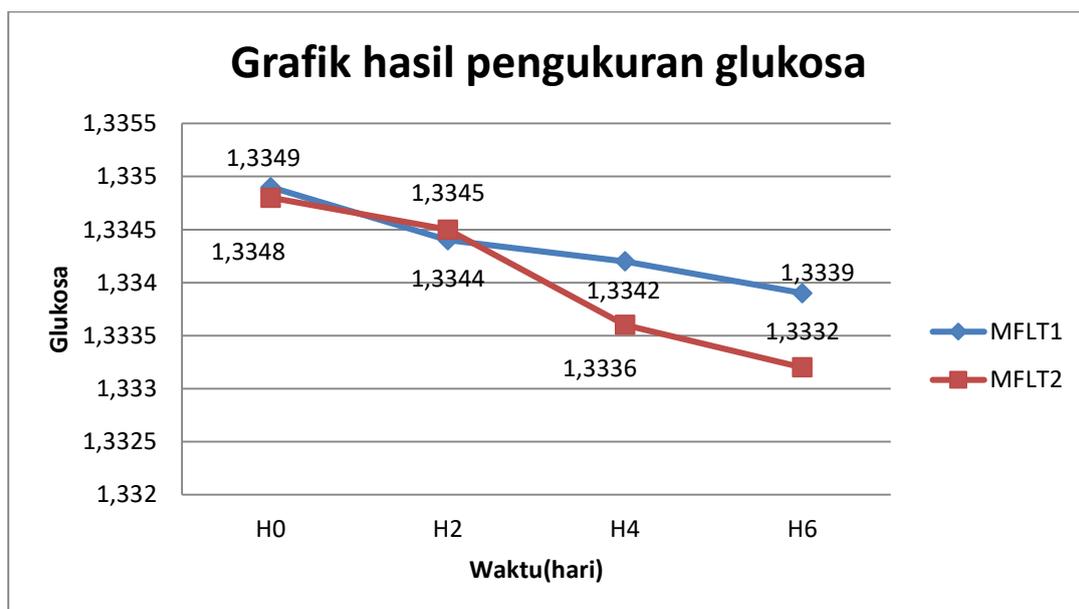
MFLT2 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH_2PO_4 + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ +
Gula

H0 : Fermentasi Hari ke-0

H2 : Fermentasi Hari ke-2

H4 : Fermentasi Hari ke-4

H6 : Fermentasi Hari ke-6



Gambar 4. Grafik hubungan antara lama fermentasi dan hasil analisis kadar glukosa

- Keterangan :
- MFLT1 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH_2PO_4 + Gula
- MFLT2 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH_2PO_4 + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ + Gula
- H0 : Fermentasi Hari ke-0
- H2 : Fermentasi Hari ke-2
- H4 : Fermentasi Hari ke-4
- H6 : Fermentasi Hari ke-6

Hasil analisis kadar glukosa dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan gambar 4.4. Kadar glukosa awal pada hari ke-0 MFLT1 sebesar 1,3349 %, MFLT2 sebesar 1,3348 % dan kadar glukosa setelah hari ke-2 MFLT1 sebesar 1,3344 %, MFLT2 sebesar 1,3345 mg/ml. Pada hari ke-4 MFLT1 dapat dilihat kadar glukosa sebesar 1,3342 %, MFLT2 sebesar 1,3336 %. Sedangkan pada hari ke-6 dilihat kadar glukosa MFLT1 sebesar 1,3339 %, MFLT2 kadar glukosa sebesar 1,3332. Secara umum kadar glukosa terus mengalami penurunan karena dimanfaatkan oleh sel untuk tumbuh dan untuk membentuk produk berupa asam. Semakin banyak kadar glukosa yang dimanfaatkan maka kadar asam akan semakin meningkat.

Pada proses fermentasi, *Sacharomyces cereviceae* menghasilkan enzim zimase dan invertase. Enzim zimase berfungsi sebagai biokatalis yang dapat mengubah glukosa dan fruktosa menjadi alkohol dan CO_2 , sedangkan enzim invertase berfungsi mengubah sukrosa menjadi gula invert (glukosa dan fruktosa) (Poedjiadi dan Titin, 2006). Maka dari itu semakin lama limbah tahu didiamkan semakin rendah kadar glukosanya.

Menurut (Muhammad *et al.*, 2017), semakin lama waktu fermentasi, maka kadar glukosa dalam tape onggok semakin meningkat hingga jam ke-72. Hal ini disebabkan adanya aktivitas mikroba dalam ragi yang semakin meningkat dalam memecah pati onggok menjadi glukosa, seiring dengan fermentasi glukosa menjadi alkohol. Pada jam ke-96 kadar glukosa mengalami penurunan. Diduga aktivitas metabolisme mikroba dalam ragi mulai dibatasi dengan semakin bertambahnya alkohol. Hasil analisis kadar glukosa dapat dilihat pada lampiran 8.

Hasil Analisis pH

Tabel 5. Hasil Analisis pH

Media Fermentasi	Nilai Ph			
	Fermentasi Hari ke-			
	H0	H2	H4	H6
MFLT1	5,0	4,8	4,7	4,6
MFLT2	5,0	5,0	4,5	4,4

Keterangan :

MFLT1 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH_2PO_4 + Gula

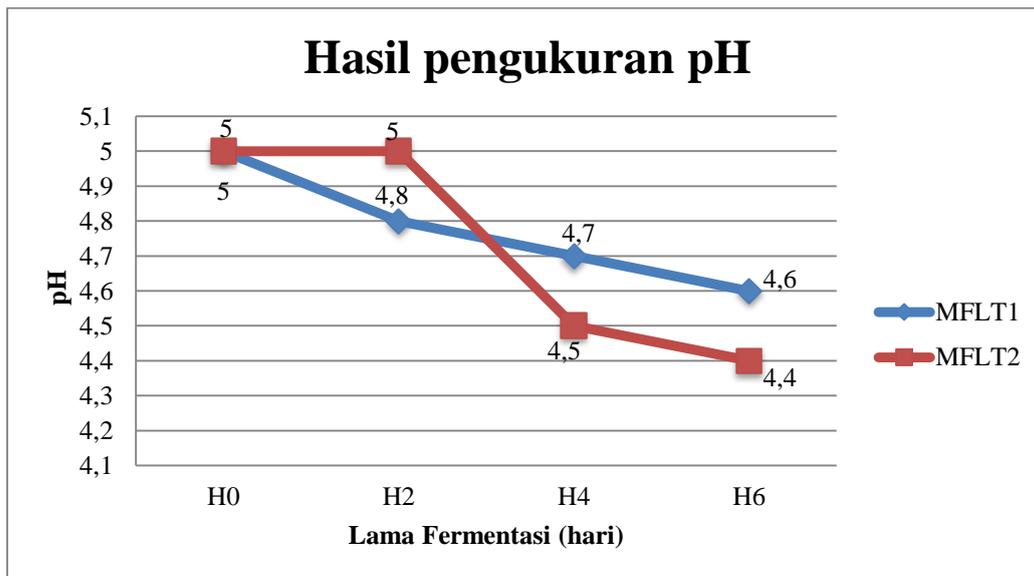
MFLT2 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH_2PO_4 + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ +
Gula

H0 : Fermentasi Hari ke-0

H2 : Fermentasi Hari ke-2

H4 : Fermentasi Hari ke-4

H6 : Fermentasi Hari ke-6



Gambar 5. Grafik hubungan antara lama fermentasi dan analisis pH

Keterangan :

MFLT1 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH_2PO_4 + Gula

MFLT2 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH_2PO_4 + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ +
Gula

H0 : Fermentasi Hari ke-0

H2 : Fermentasi Hari ke-2

H4 : Fermentasi Hari ke-4

H6 : Fermentasi Hari ke-6

Hasil analisis pH pada medium fermentasi MFLT1 dan MFLT2 menggunakan *S. cerevisiae* berlangsung selama 6 hari. Selama fermentasi terjadi perubahan pH media fermentasi karena pengaruh perlakuan penambahan nutrisi dan lama fermentasi. Perlakuan penambahan nutrisi, lama fermentasi berbeda signifikan terhadap perubahan pH medium fermentasi. Hal ini disebabkan sumber karbon dalam medium mulai tidak mencukupi sehingga terjadi pembongkaran protein dalam medium untuk aktivitas metabolismenya. Proses

metabolisme tersebut akan menghasilkan metabolit-metabolit hasil degradasi protein seperti urea dan ion-ion amonium yang dapat menyebabkan kenaikan pH (Kuswardani dan Wijajaseputra, 1998). Namun, perubahan pH selama fermentasi oleh *S.cerevisiae* masih dalam kisaran pH untuk pertumbuhan *S. cerevisiae* yaitu 5.0-4.8 seperti terlihat pada Tabel 4 dan Gambar 5 Pawignya (2011) menyatakan bahwa pH untuk pertumbuhan *S.cerevisiae* berkisar antara 5.0-4.8.

Selama proses fermentasi terjadi penurunan pH medium, hal ini disebabkan karena *S. cerevisiae* selama fermentasi mampu menghasilkan CO₂ dan metabolit sekunder seperti asam-asam organik. Amerine dalam Wignyanto (2001) menyatakan bahwa perubahan pH selama fermentasi oleh *S. cerevisiae* disebabkan karena dalam aktivitasnya, sel *S. cerevisiae* selain menghasilkan etanol sebagai metabolit primer dan juga menghasilkan asam-asam organik seperti asam malat, asam sitrat, asam asetat, asam tartarat, asam laktat, asam butirat dan asam propionate sebagai hasil sampingan. Asam-asam inilah yang berperan dalam menurunkan pH medium. Hasil analisis pH dapat dilihat pada lampiran 9.

Hasil Analisis Suhu

Tabel 6. Hasil Analisis Suhu

Media Fermentasi	Suhu (°C)			
	Fermentasi hari ke-			
	H0	H2	H4	H6
MFLT1	31,3	26,0	28,8	25,8
MFLT2	32,8	25,5	29,0	26,0

Keterangan :

MFLT1 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH₂PO₄ + Gula

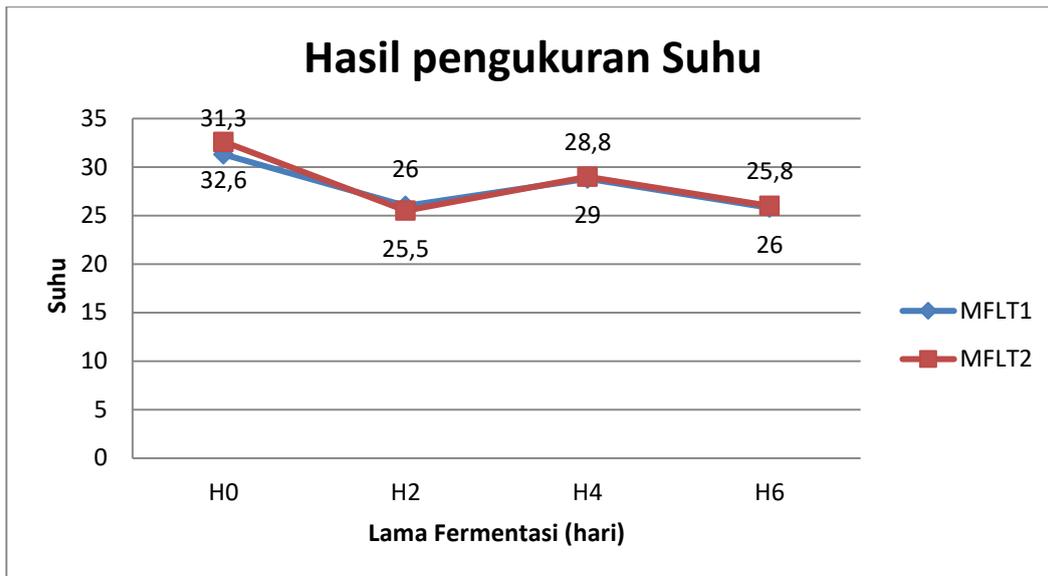
MFLT2 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH₂PO₄ + (NH₄)₂SO₄ +
Gula

H0 : Fermentasi Hari ke-0

H2 : Fermentasi Hari ke-2

H4 : Fermentasi Hari ke-4

H6 : Fermentasi Hari ke-6



Gambar 6. Grafik hubungan antara lama fermentasi dan Hasil Analisis Suhu

Keterangan :

MFLT1 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH_2PO_4 + Gula

MFLT2 : Media Fermentasi Limbah Cair Tahu + KH_2PO_4 + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ +
Gula

H0 : Fermentasi Hari ke-0

H2 : Fermentasi Hari ke-2

H4 : Fermentasi Hari ke-4

H6 : Fermentasi Hari ke-6

Suhu mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme. Setiap spesies mempunyai rentang suhu yang ditentukan oleh sensitivitas system enzim terhadap panas. Suhu optimum yang dapat menunjang pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* yaitu berkisar antara 29°C-32°C. Pada Tabel 4.5 bahwa hasil pengukuran suhu pada MFLT1 semakin lama fermentasi maka suhu mengalami kenaikan. Sedangkan pada MFLT2 lama fermentasi mengalami penurunan.

Menurut Forsith (1963), *Saccharomyces cerevisiae* mempunyai suhu optimal untuk pertumbuhan mikroba. Suhu dibawah minimal dan diatas maksimal dapat menyebabkan terjadinya denaturasi enzim sehingga tidak dapat tumbuh. Sebagian besar *Saccharomyces cerevisiae* umumnya tumbuh baik pada kisaran suhu 25-46°C. Maka rata-rata suhu yang didapat yaitu antara 25,8-32,8 °C tidak menyebabkan pertumbuhan *S.cerevisiae* terhambat.

Hasil Analisis Data

Hasil uji normalitas dari kadar protein, diketahui nilai p (Sig.) 0.997 > 0.05 maka H0 diterima data berdistribusi normal. Sehingga data dalam penelitian ini berasal dari populasi dalam sebaran yang normal dan dapat dilakukan pengujian homogenitas varians data. Hasil uji

homogenitas dari protein, diketahui jika standar deviasi bernilai konstan, maka berdasarkan hasil tersebut, pengujian hipotesis penelitian tidak dapat dilanjutkan.

Hasil uji normalitas dari berat kering sel, diketahui nilai p (Sig.) $0.870 > 0.05$ maka H_0 diterima data berdistribusi normal. Sehingga data dalam penelitian ini berasal dari populasi dalam sebaran yang normal dan dapat dilakukan pengujian homogenitas varians data. Hasil uji homogenitas dari berat kering sel, diketahui jika standar deviasi bernilai konstan, maka berdasarkan hasil tersebut, pengujian hipotesis penelitian tidak dapat dilanjutkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Dari hasil penelitian ini didapat bahwa limbah cair tahu dapat menghasilkan protein sel tunggal dari kultur *Saccharomyces cerevisiae*
2. Dari penelitian ini didapatkan bahwa terdapat perbedaan hasil produksi protein dengan penambahan nutrisi yang berbeda pada medium fermentasi, dimana hasil kadar protein pada MFLT2 lebih tinggi dibandingkan kadar protein pada media MFLT1.

Saran

Disarankan pada peneliti selanjutnya untuk melakukan variasi pH agar dapat mengetahui perbedaan yang didapat dalam mengetahui kadar protein, berat kering sel dan kadar glukosa.

DAFTAR REFERENSI

- Afriani, M. 2012. Pengaruh Fermentasi dan Konsentrasi Ragi Roti Rot Terhadap Kadar Bioetanol Dari Fermentasi Glukosa Hasil Hidrolisis Selulosa Terhadap Kosong Kelapa Sawit. Departemen Kimia Universitas Sumatra Utara.
- Agustining, D. 2012. Daya Hambat *Saccharomyces cerevisiae* Terhadap Pertumbuhan Jamur *Fusarium Oxysporum*. Skripsi. Universitas Jember.
- Ahmad, Z.R. 2005. Pemanfaatan Khamir *Saccharomyces cerevisiae* untuk Ternak, *Wartazoa* 15 (1); 49-55.
- Amayanti, A., Joni & Ali. 2004. Analisis Resiko Lingkungan dari Pengolahan Limbah Cair Tahu dengan Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L). FTSP-ITS: Semarang.
- Andarwulan, N., Kusnandar, F., dan Herawati. 2011. Analisis Pangan. Dian Rakyat: Jakarta.
- Apriyantono, A., D. Fardiaz, N.L. Puspitasari, S. Yasni dan S. Budiyanto. 1989. Petunjuk Praktikum Analisis Pangan. IPB Press, Bogor.
- AOAC International. 1999. Official Method Of Analysis.
- Batubara, U. M., 2009. Pembuatan Pakan Ikan dari Protein Sel Tunggal Bakteri Fotosintetik Anoksigenik dengan Memanfaatkan Limbah Cair Tepung Tapioka yang Diuji pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). Skripsi. Departemen Biologi. USU: Medan.

- BPPT. 1997. Teknologi Pengolahan Limbah Tahu – Tempe Dengan Proses Biofilter Anaerob Aerob. Laporan Kegiatan. Kelompok Teknologi Pengolahan AIR Bersih dan Limbah Cair. BPPT.
- Calessman, dkk. 2005. Pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae*.
- Cappucino, J. G., and Sherman, N., 2014. Manual Laboratorium Mikrobiologi. 8th ed. J. Manurung dan H. Vidhayanti, Ed. Jakarta: EGC.
- Cahyadi, W., (2009). Kedelai Khasiat dan Teknologi. Jakarta. PT Bumi Aksara. Hal 4,6,58.
- Darsono, V. 2007. Pengolahan Secara Aerob dan Anaerob. Jurnal Teknologi Industri. 11:9-20.
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air. Yogyakarta: Kanisius.
- Gandjar, I. 2006. Mikrobiologi Dasar dan Terapan. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Herlambang, A. 2005. Penghilangan Bau Secara Biologi Dengan Biofilter Sintetik. JAI. Vol.1, No, 1. Kelompok Teknologi Pengolahan Air Bersih Dan Limbah Cair, Pusat Pengkajian Dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT.
- Husin, A. 2003. Pengolahan Limbah Cair Tahu Industri Tahu Menggunakan Biji Kelor (*Moringa oleifera*) Sebagai Koagulan. Laporan Penelitian Dosen Muda Fakultas Teknik Univesitas Sumatera Utara.
- Haryono, B. S.T.P., & Kurniato, D., (2013). Kedelai. Provinsi Sumatera Utara. PT. Trisula Adisakti.
- Kaswinarni, F. 2007. Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat dan Cair Industri Tahu. (Tesis). Semarang: Program Study Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro.
- Kustyawati, M. E. 2009. Kajian Perab Yeast Dalam Pembuatan Tempe. Univesitas Lampung, 29.
- Lavens, P. & P. Sorgeloos. 1996. Manual on the Production and Use of Live Food for Aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper. No. 361. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Legowo, A. (2005). Analisis Pangan. Badan Penerbit Universitas Diponegoro: Semarang.
- Lay, B. W. (1994). Analisis Mikroba Di Laboratorium. Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.
- Manfaati, R. (2010). Kinetika dan Variabel Optimum Fermentasi Asam Laktat dengan Media Campuran Tepung Tapioka dan oleh *Rhizopus oryzae*. Tesis. Magister Teknik Kimia. UNDIP: Semarang.
- Marx, J.L. (1991). Revolusi Bioteknologi. Yayasan Obor Indonesia: Jakarta.
- Milman, J. & Halkias, C.C. 1985. Elektronika Terpadu: Rangkaian dan Sistem Analog dan Digital. Jakarta: Erlangga.
- Misto, & Mulyono, T. 2007. Desai Refraktometer Prisma Untuk Pengukuran Kadar Gula Berdasarkan Perubahan Sudut Puncak Secara Terkomputerisasi – Prosiding SENSEI Seminar Nasional Universitas Muhammadiyah Jember 2017, No. 8 (203-206).
- Maryana, L., Ana, S., & Nugrahani, .A., (2016). Produksi Protein Sel Tunggal Dari Kultur *Rhizopus oryzae* Dengan Medium Limbah Cair Tahu. Palu. Universitas Tadulako. Hal 134.
- Muchtadi, D. 1989. Evaluasi Nilai Gizi Pangan. Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi, IPB,

Bogor.

- Nigam, J.N. (1998). Single Cell Protein from Pineapple Cannery Effluent. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 14, 693-696.
- Nohong. 2010. Pemanfaatan Limbah Cair Tahu Sebagai Bahan Penyerap Logam Krom, Kadmium dan Besi Dalam Air Lindi TPA. *Jurnal Pembelajaran Sains*. Vol. 6, No. 2: 257-269. Kendari: Jurusan Kimia FMIPA Universitas Haluoleo Kendari.
- Nasution, N.M. Feliatra., & Effendi, I., 2021. Analisis Pertumbuhan Protein Sel Tunggal Kultur *Bacillus cereus* Dengan Media yang Berbeda. Riau. Universitas Riau. Hal 48.
- Pelczar, M.J., E.C.S. Chan. 2008. *Dasar-Dasar Mikrobiologi jilid 1*. UI-press: Jakarta.
- Pawignya, H. 2011. Pembuatan Protein Sel Tunggal dari Limbah Nanas Dengan Proses Fermentasi. *Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri UPN "Veteran"*. ISSN 1693-4393 Yogyakarta.
- Poedjiadi, Anna dan F. M. Titin Supriyanti. (2006). *Dasar-Dasar Biokimia*. Jakarta. UI-Press.
- Riadi, R. 2007. *Teknologi Fermentasi*. ISBN: 978-979-756-233-5. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sidharta, B. R., (2000). *Pengantar Mikrobiologi Kelautan*. Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Yogyakarta.
- Sitairesmi. 2002. *Mikrobiologi Lingkungan I*. Jakarta. Biologi FMIPA UI.
- Somaye, F., M.N. Marizieh & N. Lale. 2008. Single Cell Protein (SCP) Production from UF Cheese When by *Kluyveromyces marxianus*. 18th National Congress on Food Technology, Iran. 16 – 18 Oct.
- Sudarmadji, S; B. Haryono dan Suhardi. (1989). *Analisa Bahan Makanan dan Pertanian*. Penerbit Liberty. Yogyakarta.
- Sugiharto. 1994. *Dasar-Dasar Pengolahan Air Limbah*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- Suryanto, D., 2009. Prospek Keanekaragaman Hayati Mikroba (Microbial Bioprospecting) Sumatra Utara. Makalah Pidato Pengukuhan Guru Besar Tetap Bidang Mikrobiologi fak. FMIPA. USU. Medan.
- Susanti, M. T., Wahyuningsih, I. puihastuti & E. Supryo. 1997. Optimasi Produksi Protein Sel Tunggal dari Bagase Terhidrolisis Dengan Fermentasi Oleh *Saccharomyces cerevisiae*. Laporan Penelitian Dosen Muda (biaya DIK Rutin) Fak. Teknik. UNDIP Semarang.
- Wardana, A, W. 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Edisi Revisi. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Zulfikli dan Ami, A. 2001. Pengolahan Limbah Cair Pabrik Tahu dengan Rotating Biological Contactor (RBC) pada Skala Laboratorium. *Limnotek*. Vol, VIII. No, I. :21-34.