



Produksi Protein Sel Tunggal dari *Aspergillus niger* Kultur dengan Kulit Nanas (*Ananas comosus* L. MERR) Media Limbah

Yuli Apriani Br.Lubis¹, Yayuk Putri Rahayu^{2*}, Gabena Indrayani Dalimunthe³, Haris Munandar Nasution⁴

^{1,2,3,4}Universitas Muslim Nusantara Al-Washliyah, Indonesia

Alamat: Jl. Garu II No. 93, Medan 20147, Sumatera Utara, Indonesia

No. HP: +6281362272411

*Korespondensi penulis: yayukputri@umnaw.ac.id

Abstract. Introduction: Single Cell Protein (SCP) is a term used for proteins produced from microbes such as bacteria, algae, yeasts, and fungi. One of the fungi known to produce PST is *Aspergillus niger*. **Objective:** The purpose of this study was to determine whether pineapple peel waste could produce single cell protein from *A. niger* culture and to determine differences in protein production with the addition of nutrients in the fermentation medium. **Methods:** This research method is an experimental method with the independent variables being MFKN1 medium (Pineapple Skin Fermentation Medium with the addition of KH_2PO_4 and sugar), and MFKN2 medium (Pineapple Skin Fermentation Medium with the addition of KH_2PO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and sugar); and the length of fermentation time used are days-0, 2, 4, and 6. The dependent variables of this study were analysis of protein content, dry weight of cells, glucose levels, pH and temperature. The data from this study were statistically analyzed using the two way Anova method. **Results:** The results of this study obtained the highest protein content in MFKN2 media, namely 0.80% (day-2); cell dry weight 0.473 g; glucose level 1.3406%; pH 4.6 and temperature 31 °C. Meanwhile, the highest protein content in MFKN1 media was 0.59% (day- 4); cell dry weight 0.346 g; glucose level 1.3406%; pH 3.7 and temperature 26.6 °C. **Conclusion:** The conclusion of this study is that pineapple peel waste can produce single cell protein from *A. niger* culture and there are differences in protein production results with the addition of nutrients, where protein content in MFKN2 medium is higher than protein content in MFKN1 medium.

Keywords: single cell protein (SCP), pineapple peel waste, fermentation, *Aspergillus niger*.

Abstrak. Pendahuluan: Protein Sel Tunggal (PST) merupakan istilah yang digunakan untuk protein yang berasal dari mikroba seperti bakteri, alga, khamir, dan jamur. Salah satu jamur yang diketahui dapat menghasilkan PST adalah *Aspergillus niger*. **Tujuan:** Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah limbah kulit nanas dapat menghasilkan protein sel tunggal dari kultur *A. niger* dan untuk mengetahui perbedaan produksi protein dengan penambahan nutrisi pada medium fermentasi. **Metode:** Metode penelitian ini adalah eksperimental dengan variabel bebas medium MFKN1 (Medium Fermentasi Kulit Nanas dengan penambahan nutrisi KH_2PO_4 dan gula), dan medium MFKN2 (Medium Fermentasi Kulit Nanas dengan penambahan nutrisi KH_2PO_4 ; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dan gula); serta lama waktu fermentasi yang digunakan yaitu hari ke-0, 2, 4, dan 6. Variabel terikat penelitian ini adalah analisis kadar protein, analisis berat kering sel, analisis kadar glukosa, analisis pH dan suhu. Data hasil penelitian ini dianalisis secara statistik dengan metode *two way* Anova. **Hasil:** Hasil penelitian ini diperoleh kadar protein tertinggi pada media MFKN2 yaitu 0,80% (hari ke-2); berat kering sel 0,473 g; kadar glukosa 1,3406%; pH 4,6 dan suhu 31 °C. Sedangkan kadar protein tertinggi pada media MFKN1 yaitu 0,59% (hari ke-4); berat kering sel 0,346 g; kadar glukosa 1,3406%; pH 3,7 dan suhu 26,6 °C. **Kesimpulan:** Kesimpulan penelitian ini bahwa limbah kulit nanas dapat menghasilkan protein sel tunggal dari kultur *A. niger* dan terdapat perbedaan hasil produksi protein dengan penambahan nutrisi, dimana kadar protein pada medium MFKN2 lebih tinggi dibandingkan kadar protein pada medium MFKN1.

Kata kunci: protein sel tunggal (PST), limbah kulit nanas, fermentasi, *Aspergillus niger*.

1. PENDAHULUAN

Protein sel tunggal (PST) adalah istilah yang digunakan untuk protein kasar atau murni berupa sel kering atau biomasa jasad renik yang berasal dari mikroorganisme bersel satu seperti jamur (kapang), khamir (yeast), bakteri, ganggang dan protozoa, yang dapat digunakan sebagai sumber protein untuk pangan maupun pakan (Tannemaum *et al.* 1978). Istilah ini juga digunakan mikroba sebagai pembeda dari protein hewan dan tumbuhan multiseluler. Keuntungan menggunakan PST selain sebagai sumber protein yang tinggi juga pertumbuhan sel-sel mikrobial sangat cepat karena waktu generasinya yang pendek dan tidak membutuhkan tempat yang luas. PST dapat digunakan sebagai tambahan protein pada pangan, pelengkap protein untuk ternak dan ramuan pangan yang berfungsi sebagai pembentuk cita rasa.

Setiap mikroorganisme yang mampu tumbuh menggunakan selulosa sebagai sumber karbon, dapat digunakan untuk membuat protein sel tunggal (Nasution, 2021). *Aspergillus niger* merupakan salah satu jenis kapang yang populer dan banyak digunakan secara komersial dalam suatu produksi, karena mudah tumbuh dengan cepat dan juga merupakan spesies *aspergillus* yang tidak menghasilkan mikotoksin sehingga tidak membahayakan (Gras dan Maryanti, 2010).

Berdasarkan penelitian Pawignya (2011), limbah nanas dapat dimanfaatkan lebih lanjut menjadi protein sel tunggal dari kultur *Saccharomyces cerevisiae*. Kondisi terbaik diperoleh pada pH 4,5 dengan penambahan nutrisi 0,8 g dan waktu fermentasi 2 hari. Hubungan waktu fermentasi terhadap kadar protein, diperoleh bahwa semakin lama waktu fermentasi diperoleh kadar protein yang semakin tinggi hal ini karena yeast melakukan pertumbuhan dan berkembang biakan. Hubungan Jumlah nutrisi (g) terhadap kadar protein (%), terlihat bahwa semakin banyak nutrisi yang ditambahkan sampai maka diperoleh kadar protein yang semakin besar hal ini karena yeast dalam pertumbuhannya memerlukan nutrisi, tetapi setelah penambahan diperoleh kadar protein semakin menurun hal ini karena penambahan nutrisi yang berlebih dapat menghambat pertumbuhan yeast.

Dalam pembuatan PST, jasad renik dengan daya rombaknya yang kuat, komposisi bahan dasar, maupun teknologi proses yang digunakan sangat menentukan mutu produk yang dihasilkan. Bahan baku untuk pembuatan PST harus mengandung air, sumber nitrogen, sumber karbon dan mineral (Tannemaum *et al.* 1978). Limbah buah nanas terdiri dari: kulit, mata nanas. Kulit nanas mengandung air, karbohidrat, protein, gula pereduksi, dan serat kasar. Peneliti terdahulu Nurhayati dan Berliana (2014) menjelaskan bahwa kulit nanas masih memiliki nilai gizi yang baik yaitu bahan kering (BK) 88,95%, abu 3,82%, serat kasar (SK)

27,09%, protein kasar (PK) 8,78%, dan lemak kasar (LK) 1,15%. Limbah buah nanas yang tidak dimanfaatkan akan menimbulkan bau yang tidak sedap, terjadi kekurangan O₂ karena selama proses perombakan oleh mikroorganisme memerlukan oksigen untuk mendukung pertumbuhannya serta terjadi pelepasan gas metan (CH₄) dan CO₂ yang menaikkan emisi penyebab efek rumah kaca yang memicu global warming. Salah satu alternatif pemanfaatan dari limbah buah nanas yaitu dapat dilakukan dengan fermentasi (Azizah, dkk. 2012).

Berdasarkan latar belakang tersebut maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah limbah kulit nanas dapat memproduksi protein sel tunggal dari kultur *Aspergillus niger* dan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan media media MFKN1 (media fermentasi kulit nanas dengan penambahan nutrisi KH₂PO₄ dan gula) dengan media MFKN2 (media fermentasi kulit nanas dengan penambahannutrisi KH₂PO₄, (NH₄)₂SO₄ dan gula).

2. METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aquadest, gula pasir, biakan murni jamur *Aspergillus niger*, 0,1 % KH₂PO₄, 0,1% (NH₄)₂SO₄, selenium, asam sulfat pekat, NaOH 5%, indikator metil merah, asam klorida 0,1001 N, media Potato Dextrose Agar (PDA).

Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah inkubator, autoklaf, erlenmeyer, kawat ose, *cling wrap*, pisau cutter, kertas saring, timbangan, pH meter, cawan petri, corong, *laminar air flow*, panci *stainless steel*, *refractometer*, cawan porselein, pipet tetes, batang pengaduk, spatula, gelas ukur dan blender.

Prosedur Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sampel dalam penelitian ini adalah *purposive sampling* (penunjukan langsung). Sampel limbah nanas diambil dari pasar Simpang Limun, Medan.

Identifikasi Sampel

Tanaman nanas (*Ananas comosus* L. Merr.) diidentifikasi di *Herbarium Medanese* (MEDA) Universitas Sumatera Utara.

Pengolahan Sampel

Kulit nanas dibersihkan dengan cara dicuci dengan air mengalir kemudian dihancurkan dengan cara diblender sampai halus. Kulit nanas yang sudah dihaluskan kemudian disaring untuk diambil filtratnya. Filtrat kulit nanas yang sudah disaring disterilkan dengan cara dipanaskan hinggamendidih selama 5 menit pada suhu 100°C. Filtrat kulit nanas yang sudah disterilkan didinginkan dengan cara dibiarkan disuhu ruang (Pawignya, 2011).

Pembuatan Media Fermentasi

Fomulasi pembuatan media fermentasi dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut ini

Tabel 1. Fomulasi media fermentasi

Komposisi	Media 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% (4 g)	2% (4 g)
Filtrat limbah kulit nanas	Ad 200 mL	Ad 200 mL

Pembuatan media fermentasi dilakukan dengan penambahan nutrisi yang berbeda. Filtrat kulitnanas yang sudah steril dan dingin diambil sebanyak 400 mL dan dimasukkan masing-masing sebanyak 200 mL ke dalam 2 erlenmeyer yang berbeda untuk media MFKN1 dan MFKN2. Media fermentasi MFKN1 terdiri dari filtrat limbah kulit nanas ditambahkan nutrisi KH₂PO₄ 0,1% dari 200 mL yaitu sebanyak 0,2 gram, ditambahkan gula pasir 2% dari 200 mL yaitu sebanyak 4 gram, kemudian ditambahkan NaOH sampai pH medium fermentasi menjadi 5. Media fermentasi MFKN2 terdiri dari filtrat limbah kulit nanas ditambahkan nutrisi KH₂PO₄ 0,1% dari 200 mL yaitu sebanyak 0,2 gram, ditambahkan (NH₄)₂SO₄ 0,1% dari 200 mL yaitu sebanyak 0,2 gram, ditambahkan gula pasir 2% dari 200 mL yaitu sebanyak 4 gram, dan ditambahkan NaOH sampaipH medium fermentasi menjadi 5. Kedua media MFKN1 dan MFKN2 kemudian disterilkan dengancara dipanaskan sampai mendidih pada suhu 100 °C selama 5 menit, kemudian didinginkan pada suhu ruang (Somaye dkk, 2008).

Pembuatan starter

Pembuatan starter dilakukan dengan cara diambil 10% (v/v) dari 200 mL media fermentasi MFKN1 dan MFKN2 masing-masing sebanyak 20 mL, kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyeryang berbeda secara terpisah. Selanjutnya dibuat suspensi jamur *Aspergillus niger* OD₆₀₀ = 0,5 menggunakan larutan fisiologis (NaCl 0,9%) sebanyak 5% (v/v) dari media

starter (Rahayu, 2018; Rahayu dkk., 2019). Suspensi *A. niger* $OD_{600} = 0,5$ sebanyak 5% (v/v) dari 20 mL yaitu 1 ml dimasukkan ke dalam masing-masing media starter MFKN1 dan MFKN2. Kemudian diinkubasi selama 2 hari pada suhu 30 °C sambil sesekali diaduk agar homogen. Hingga diperoleh starter masing-masing media MFKN1 dan MFKN2. kemudian diinkubasi selama 2 hari pada suhu 30°C (Pawignya, 2011).

Proses Fermentasi

Proses fermentasi dilakukan dengan cara menambahkan starter pada masing-masing media fermentasi MFKN1 dan MFKN2 Kemudian diaduk hingga homogen dan ditutup rapat. Kedua fermentasi MFKN1 dan MFKN2 diinkubasi selama 6 hari dan dilakukan analisa kadar protein, berat kering sel, kadar glukosa, pH dan suhu pada hari ke-0, 2, 4 dan 6 (Pawignya, 2011).

Analisis Kadar Protein

Analisis kadar protein dilakukan pada hari ke-0, 2, 4 dan 6. Media fermentasi ditimbang sebanyak 1 g kemudian dimasukkan ke dalam beaker labu kjeldahl lalu ditambahkan selenium sebanyak 0,2 g dan $H_2SO_{4(P)}$ 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 H_3BO_3 3% dan indicator 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:

$$\% \text{ Protein} = \% \text{ N} \times \text{Faktor konversi (Pawignya, 2011)}.$$

Pengukuran kadar protein dilakukan pada masing-masing media fermentasi MFKN1 dan MFKN2.

Analisis Berat Kering Sel

Analisis berat kering sel dilakukan pada hari ke-0, 2, 4 dan 6. 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 jamur dilakukan dengan menentukan berat kering sel jamur. Dimasukkan 1 ml jamur yang diambil dari media

fermentasi ke dalam mikrotube kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 6000 rpm selama 5 menit. Isolat yang disentrifugasi akan menghasilkan supernatan dan endapan sel jamur. Kemudian endapan sel jamur 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 jamur tersebut (Nasution et al, 2021). Pengukuran berat kering sel dilakukan pada masing-masing media fermentasi MFKN1 dan MFKN2.

Analisis Kadar Glukosa

Analisis kadar glukosa dilakukan pada hari ke-0, 2, 4 dan 6. Kadar glukosa filtrat limbah kulitnanas yang terdapat pada medium fermentasi diukur dengan alat refraktometer. Dipipet medium fermentasi dan diteteskan pada permukaan prisma sampai menutupi permukaan prisma. Kemudian dicatat kadar glukosanya (Jasman *et al*, 2021). Pengukuran kadar glukosa dilakukan pada masing- masing media fermentasi MFKN1 dan MFKN2.

Analisis pH dan Suhu

Analisis pH dan suhu dilakukan pada hari ke-0, 2, 4 dan 6. Analisis pH dan Suhu dilakukan menggunakan alat pH meter dengan cara dimasukkan pH meter kedalam media MFKN1 dan mediaMFKN2 lalu dicatat hasilnya. Analisis pH dan suhu dilakukan bersamaan pada saat hendak melakukan analisis kadar protein dan berat kering sel. Pengukuran pH dan suhu dilakukan pada masing-masing media fermentasi MFKN1 dan MFKN2.

Analisa Data

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

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Identifikasi jamur *Aspergillus niger*

Hasil identifikasi jamur *Aspergillus niger* secara mikroskopis menunjukkan bahwa hifanyatak bersepta, setiap konidifora menyokong satu konidia. Konidia memiliki ciri yaitu berbentuk bulat dengan konidifora panjang berbentuk silinder, serta tidak berwarna. Ciri ini sesuai dengan Wahdania (2016) yang mendeskripsikan ciri *Aspergillus niger* secara mikroskopis memiliki ciri hifa yang tak bersepta, setiap konidifora menyokong satu konidia, dan konidia memiliki ciri berbentuk bulat dengan konidifora panjang berbentuk silinder tak berwarna (hialin).

Hasil Pengolahan Limbah Kulit Nanas

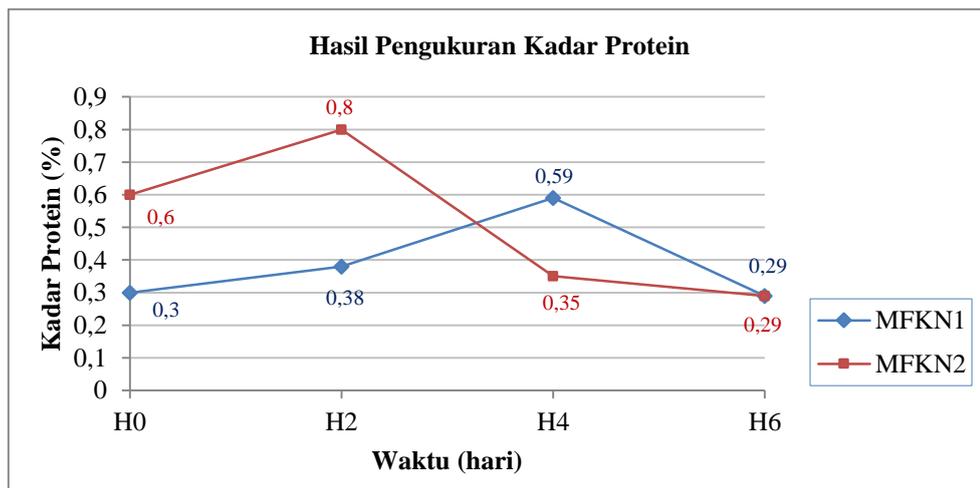
Hasil pengolahan kulit nanas (*Ananas comosus* L.Merr) dengan berat basah 2 kg, diperoleh filtrat limbah kulit nanas sebanyak 500 mL.

Hasil Analisis Kadar Protein

Hasil kadar protein dapat dilihat dari Tabel 2 dan Gambar 1.

Tabel 2. Hasil Analisis Kadar Protein

Medium Fermentasi	Kadar Protein (%)			
	H0	H2	H4	H6
MFKN1	0,30	0,38	0,59	0,29
MFKN2	0,60	0,80	0,35	0,29



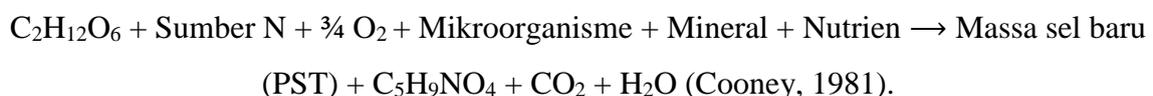
Gambar 1. Grafik hubungan waktu fermentasi terhadap kadar protein

- Keterangan :
- MFKN1 : Media Fermentasi Kulit Nanas + KH_2PO_4 + Gula
- MFKN2 : Media Fermentasi Kulit Nanas + KH_2PO_4 + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ + Gula
- Fermentasi hari ke-0
- H2 : Fermentasi hari ke-2
- H4 : Fermentasi hari ke-4
- H6 : Fermentasi hari ke-6

Kadar protein pada media MFKN1 mengalami peningkatan pada waktu fermentasi hari ke-4 dengan kadar protein 0,59%. Peningkatan kadar protein pada media MFKN2 terjadi pada waktu fermentasi hari ke-2 dengan kadar protein 0,80%. Peningkatan terjadi karena adanya penambahan protein yang disumbangkan oleh sel mikroba akibat pertumbuhannya yang menghasilkan produk protein sel tunggal (PST) atau biomassa sel yang mengandung protein. Pada media MFKN1 mengalami penurunan kadar protein pada waktu fermentasi hari ke-6 dengan kadar protein 0,29%, sedangkan pada media MFKN2 mengalami penurunan kadar protein pada waktu fermentasi hari ke-6 dengan kadar protein 0,29%. Penurunan kadar protein pada proses fermentasi ini disebabkan karena pada waktu fermentasi 6 hari pertumbuhan *Aspergillus niger* sudah pada fase *death phase* (fase kematian) sehingga mengalami lisis dan protein yang terkandung didalam selnya terurai menjadi non protein misalnya berupa amonia, hal ini menyebabkan kadar protein dari produk fermentasi menjadi turun (Kusuma, 2019).

Proses fermentasi media MFKN1 pada hari ke-4 dan media MFKN2 pada hari ke-2 *Aspergillus niger* mengalami pertumbuhan yang cepat karena nutrisi yang terkandung dalam medium tersedia dalam jumlah yang berlebih untuk dimanfaatkan *Aspergillus niger* bagi pertumbuhannya. *Aspergillus niger* 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. Peningkatan jumlah sel dan massa sel menandai adanya pertumbuhan mikroorganisme, semakin tinggi kecepatan pertumbuhan semakin banyak jumlah massa sel (Fardiaz, 1992). Hasil analisis kadar protein dapat dilihat pada lampiran 8.

Persamaan reaksi pembuatan Protein Sel Tunggal (PST) pada proses fermentasi adalah sebagai berikut:



Pengaruh penambahan nutrisi KH_2PO_4 ; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; dan Gula dalam medium fermentasi limbah kulit nanas terhadap hasil kadar protein yang diperoleh ialah terdapat perbedaan hasil produksi protein dengan penambahan nutrisi pada media fermentasi, dimana hasil kadar protein pada media MFKN2 lebih tinggi dibandingkan kadar protein pada media MFKN1.

Pada penelitian Napitupulu *et al.* (2024) produksi protein sel tunggal (PST) dari limbah kulit nenas dengan kultur *Saccharomyces cerevisiae* pada medium limbah kulit nenas dengan penambahan KH_2PO_4 ; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; dan gula menunjukkan kadar protein tertinggi yaitu sebesar 0,43% (hari ke-4). Sedangkan pada medium limbah kulit nenas dengan penambahan KH_2PO_4 dan gula saja diperoleh kadar protein tertinggi yaitu 0,38% (hari ke-6). Pada penelitian Basaniah *et al.* (2024) produksi protein sel tunggal (PST) dari limbah cair tahu dengan kultur *Bacillus cereus* pada medium limbah cair tahu dengan penambahan KH_2PO_4 ; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; dan gula menunjukkan kadar protein tertinggi yaitu 0,73% (hari ke-4). Sedangkan pada medium limbah cair tahu dengan penambahan KH_2PO_4 dan gula saja diperoleh kadar protein tertinggi yaitu 0,46% (hari ke-4). Demikian pada penelitian Harahap *et al.* (2024) produksi protein sel tunggal dari limbah cair tahu dengan kultur *Saccharomyces cerevisiae* diperoleh kadar protein tertinggi pada medium limbah cair tahu dengan penambahan KH_2PO_4 ; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; dan gula sebesar 0,52% (hari ke-2), sedangkan pada medium limbah cair tahu dengan penambahan KH_2PO_4 dan gula saja diperoleh kadar protein tertinggi sebesar 0,35% (hari ke-4).

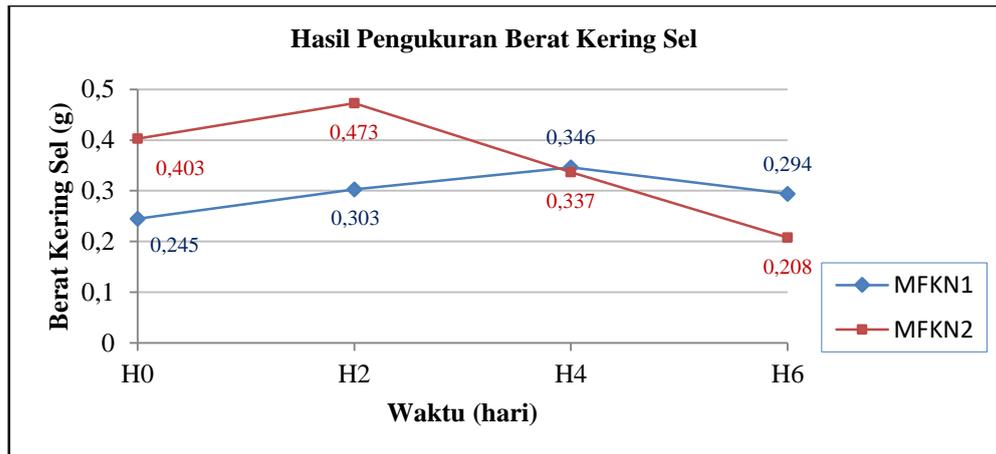
Fungsi nutrisi KH_2PO_4 pada fermentasi produksi protein sel tunggal ialah sebagai sumber fosfat dan nutrisi yang diperlukan mikroorganisme selama fermentasi, sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan dan kepadatan sel pada awal kultivasi. Fungsi nutrisi $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ pada fermentasi produksi protein sel tunggal ialah sebagai sumber nitrogen anorganik yang murah dan mengatur proses pertumbuhan (Hakim, 2007). Gula pada fermentasi produksi protein sel tunggal ialah sebagai sumber karbon dimana merupakan energi utama untuk pertumbuhan atau aktivitas metabolisme mikroba sehingga meningkatkan biomassa sel (Cooney, 1981).

Hasil Analisis Berat Kering Sel

Hasil analisis berat kering sel dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.2.

Tabel 3. Hasil Analisis Berat Kering Sel

Medium Fermentasi	Berat Kering Sel (g)			
	H0	H2	H4	H6
MFKN1	0,245	0,303	0,346	0,294
MFKN2	0,403	0,473	0,337	0,208



Gambar 2. Grafik hubungan waktu fermentasi terhadap berat kering sel

Keterangan :

MFKN1 : Media Fermentasi Kulit Nanas + KH_2PO_4 + Gula

MFKN2 : Media Fermentasi Kulit Nanas + 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 berat kering sel tertinggi terdapat pada media MFKN2 pada waktu fermentasi hari ke-2 yaitu 0,473 g sedangkan pada media MFKN1 didapat hasil berat kering sel tertinggi pada waktu fermentasi hari ke-4 yaitu 0,346 g. Berat kering sel dipengaruhi oleh medium pertumbuhan. Dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.2 berat kering sel optimum didapat pada hari ke-2 pada media MFKN2 sedangkan berat kering sel optimum pada media MFKN1 didapat pada hari ke-4. Pengaruh perbedaan penambahan nutrisi dan lama fermentasi berpengaruh secara signifikan terhadap berat kering sel yang dihasilkan dalam proses fermentasi. Berat kering sel dalam medium limbah kulit nanas dengan nutrisi antara KH_2PO_4 + Gula dan dengan nutrisi KH_2PO_4 + Gula + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ memiliki hasil yang sejalan dengan jumlah kadar protein, dimana terdapat kenaikan dan juga penurunan. Dimana jika jumlah

kadar protein mengalami kenaikan maka berat kering sel juga akan mengalami kenaikan, begitu pula jika kadar protein mengalami penurunan, maka berat kering sel juga mengalami penurunan.

Pada media MFKN1 pada hari-0 fermentasi berat kering sel yang didapat sebanyak 0,245 gram, dan mengalami kenaikan jumlah berat kering sel pada hari-2 fermentasi menjadi sebanyak 0,303 gram, yang berarti pada hari-2 merupakan fase *log* (fase pertumbuhan), fase pertumbuhan sel ditandai dengan meningkatnya jumlah sel yang signifikan karena proses pembelahan sel terjadi secara maksimal. Pada fase ini merupakan fase terbaik dalam penentuan waktu optimal inokulasi suatu sel. Pada hari-4 fermentasi jumlah berat kering sel yang didapat sebanyak 0,346 gram, berarti pertumbuhan sel memasuki fase stasioner, fase dimana sel tidak akan tumbuh lagi dan relatif tetap. Hal tersebut disebabkan berkurangnya nutrisi dan meningkatnya limbah pada media pertumbuhan. Pada hari-6 fermentasi jumlah berat kering sel yang didapat sebanyak 0,294 gram, berarti pertumbuhan sel memasuki fase kematian yang berarti jumlah sel menurun secara drastis. Sel-sel mulai mati karena konsentrasi nutrisi yang sangat rendah dan limbah yang tinggi mengakibatkan pertumbuhan sel terhambat. Pada media MFKN2 hari-0 fermentasi jumlah berat kering sel yang didapat sebanyak 0,403 gram, dan mengalami kenaikan pada hari-2 fermentasi menjadi sebanyak 0,473 gram, yang berarti merupakan fase *log* (fase pertumbuhan) pada sel. Pada hari-4 jumlah berat kering sel yang didapat sebanyak 0,337 gram, yang berarti pertumbuhan sel juga memasuki fase stasioner. Pada hari-6 fermentasi berat kering sel yang didapat sebanyak 0,208 gram, yang mana pertumbuhan sel memasuki fase kematian.

Waktu inkubasi juga berpengaruh terhadap berat kering sel. Waktu inkubasi Hari-0, Hari-2, Hari-4, Hari-6 berbeda signifikan terhadap berat kering sel. Semakin lama waktu inkubasi, berat kering sel yang dihasilkan meningkat namun memasuki Hari-6 berat kering sel menurun, karena memasuki fase kematian. Berat kering sel yang dihasilkan selama proses fermentasi ditentukan oleh jumlah sel yang tumbuh. Semakin banyak jumlah sel yang dihasilkan, maka berat kering sel meningkat. Massa inkubasi MFKN1 pada hari ke-4 dan MFKN2 pada hari ke-2 mengalami fase eksponensial. Hal ini terjadi karena bakteri yang mati di dalam media pertumbuhan lisis kembali sehingga fungi yang masih hidup memanfaatkan nutrisi dari fungi tersebut. Menurut (Baek et al., 2010), kenaikan kembali sel mikroorganisme dan pH dapat disebabkan gula dalam substrat dipecah menjadi gula-gula sederhana dengan bantuan enzim α -amilase sehingga terbentuknya gula alkohol yang membuat kadar glukosa pada medium dan pH naik kembali. Mikroorganisme ini mengalami perbedaan jumlah koloni selama masa inkubasi. Perbedaan lama waktu pada setiap fase pertumbuhan, dapat disebabkan

oleh beberapa faktor diantaranya perbedaan spesies mikroorganisme yang digunakan dan kondisi lingkungan yang berbeda (Wijanarka et al., 2016).

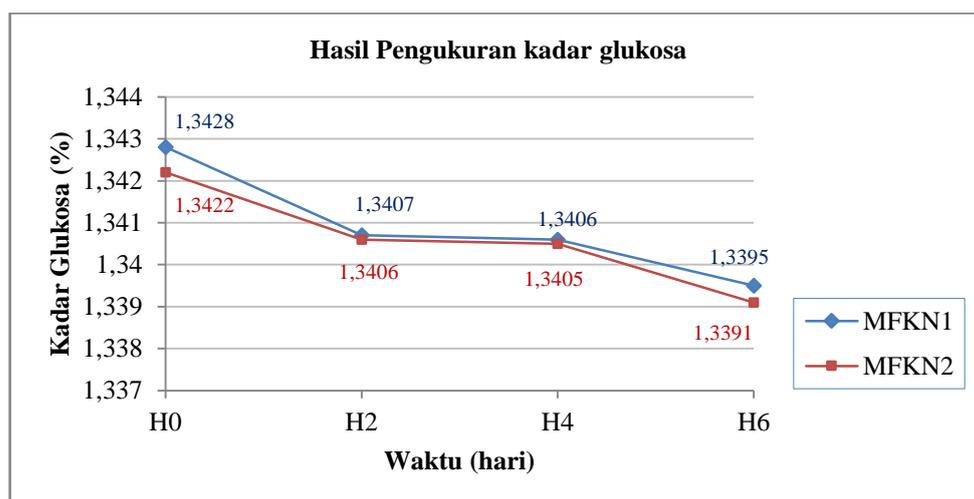
Kenaikan jumlah berat kering sel sejalan dengan kenaikan jumlah biomassa sel mikroba dan sejalan dengan kenaikan kadar protein. Penambahan nutrisi KH_2PO_4 pada fermentasi produksi protein sel tunggal adalah sebagai sumber fosfat dan nutrisi yang diperlukan mikroorganisme selama fermentasi, sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan dan kepadatan sel pada awal kultivasi. Dan penambahan nutrisi $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ pada fermentasi produksi protein sel tunggal adalah sebagai sumber nitrogen anorganik yang murah dan mengatur proses pertumbuhan (Hakim, 2007). Sedangkan gula pada fermentasi produksi protein sel tunggal ialah sebagai sumber karbon dimana merupakan energi utama untuk pertumbuhan atau aktivitas metabolisme mikroba sehingga meningkatkan biomassa sel (Cooney, 1981).

Hasil Analisis Kadar Glukosa

Hasil analisis kadar glukosa dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.3.

Tabel 4. Hasil Analisis Kadar Glukosa

Medium Fermentasi	Kadar Glukosa (%)			
	H0	H2	H4	H6
MFKN1	1,3428	1,3407	1,3406	1,3395
MFKN2	1,3422	1,3406	1,3405	1,3391



Gambar 3. Grafik hubungan waktu fermentasi terhadap kadar glukosa

Keterangan :

MFKN1 : Media Fermentasi Kulit Nanas + KH_2PO_4 + Gula

MFKN2 : Media Fermentasi Kulit Nanas + 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

Pada media MFKN1 dan media MFKN2 semakin lama waktu fermentasi maka semakin menurun kadar glukosa. *Aspergillus niger* mengalami pertumbuhan hingga mencapai puncaknya pada waktu tertentu dan akan mengalami penurunan. Selain diproduksi, gula sederhana dikonsumsi oleh *Aspergillus niger* untuk pertumbuhan. Kandungan gula pereduksi tersebut meningkat sehingga mencapai jumlah maksimal sebesar 3,8 g/l setelah 24 jam inkubasi. Gula pereduksi yang terbentuk dipergunakan untuk pembentukan selnya sehingga sejalan dengan bertambahnya waktu fermentasi maka jumlah biomassa yang terbentuk juga semakin meningkat. Sejalan dengan terjadinya pembentukan gula pereduksi kandungan pati yang tersisa dalam substrat juga menurun, hasil pengujian secara kualitatif terhadap kandungan pati yang tersisa dalam substrat terlihat bahwa setelah 24 jam inkubasi kandungan pati yang tersisa dalam substrat sudah menurun dan pada hari berikutnya (48 jam inkubasi) sudah habis dan memberikan reaksi yang negatif dengan test yodium.

Aspergillus niger merupakan kapang yang dapat tumbuh dalam lingkungan yang tidak menguntungkan bagi kebanyakan mikroorganisme lain, yaitu adanya asam dan konsentrasi gula yang tinggi. *Aspergillus niger* menghidrolisis selulosa untuk mendapatkan glukosa. Selama proses hidrolisis, *Aspergillus niger* mengkonsumsi glukosa untuk pembentukan massa sel dan produk metabolit dan juga pemeliharaan sel. Pada penelitian ini terjadi penurunan pH sebagai indikasi metabolit hasil metabolisme *Aspergillus niger*. Besarnya laju konsumsi glukosa dipengaruhi oleh laju pertumbuhan *Aspergillus niger* (Wisda, dkk. 2016). Sejalan dengan terjadinya pembentukan gula yang tersisa dalam substrat juga menurun, hasil pengujian secara kualitatif terhadap kandunganpati yang tersisa dalam substrat terlihat bahwa setelah 24 jam inkubasi kandungan pati yang tersisa dalam substrat sudah menurun dan pada hari berikutnya (48 jam inkubasi) sudah habis dan memberikan reaksi yang negatif dengan test yodium. Tahap fermentasi berikutnya, gula dalam medium semakin menurun; dengan semakin menurunnya konsentrasi gula, tidak terjadi lagi peningkatan biomassa. Dari hasil uji yodium terlihat bahwa setelah 24 jam inkubasi pati yang tersisa sudah menurun, dan selanjutnya memberikan reaksi yang negatif setelah 48 jam.

Kapang *Aspergillus* sp. dengan kode (H5) hasil eksplorasi kapang di Taman Nasional Alas Purwo telah berhasil diuji selulolitik yang mampu mendegradasi selulosa dengan memproduksi enzim lignoselulolitik seperti enzim selulase. Enzim selulase merupakan enzim kompleks yang terdiri dari endoglukanase, eksoglukanase, dan β -glikosidase. Enzim

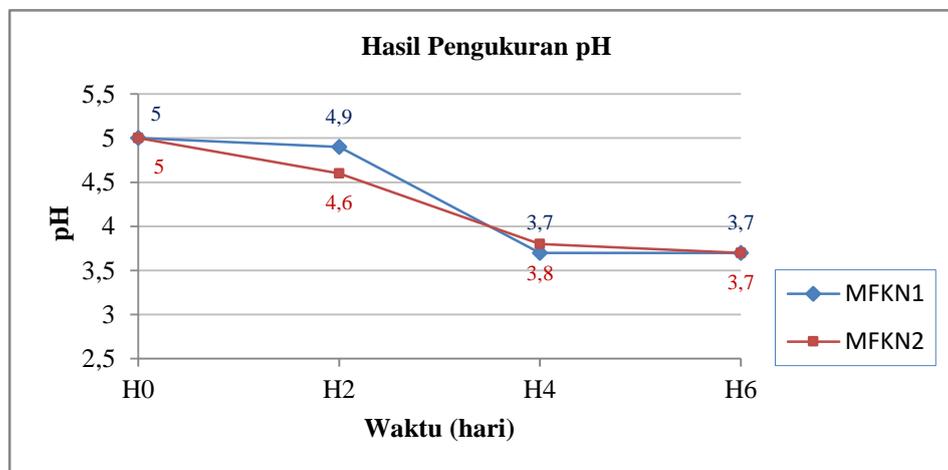
endoglukanase memecah selulosa amorf menjadi selulosa rantai pendek kemudian dilanjutkan enzim eksoglukanase memecah selulosa rantai pendek menjadi selobiosa, dan terakhir akan dipecah selobiosa menjadi glukosa oleh enzim β -glukosidase (Pikukuh, 2012).

Hasil Analisis pH

Hasil Analisis pH dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.4.

Tabel 5. Hasil Analisis pH

Medium Fermentasi	pH			
	H0	H2	H4	H6
MFKN1	5,0	4,9	3,7	3,7
MFKN2	5,0	4,6	3,8	3,7



Gambar 4. Grafik hubungan waktu fermentasi terhadap pH

Keterangan :

MFKN1 : Media Fermentasi Kulit Nanas + KH_2PO_4 + Gula

MFKN2 : Media Fermentasi Kulit Nanas + 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 fermentasi *A.niger* dalam media fermentasi MFKN1 dan MFKN2 berlangsung selama 6 hari. Selama fermentasi terjadi perubahan pH medium karena pengaruh konsentrasi glukosa dan lama fermentasi. Nilai pH yang diperoleh pada media MFKN1 mengalami penurunan pada setiap pengukurannya, begitu pula dengan nilai pH pada media MFKN2 yang mengalami penurunan setiap pengukurannya seiring berjalannya waktu fermentasi, dimana dapat dikatakan pH semakin lama semakin bersifat asam. pH yang didapat

pada media MFKN1 dan media MFKN2 sejalan dengan jumlah kadar protein yang didapat, dimana kadar protein pada media MFKN1 maupun media MFKN2 mengalami kenaikan pada hari ke-2 dan mengalami penurunan pada hari setelahnya, dan begitu pula dengan pH yang didapat, mengalami kenaikan pada hari ke-2 dan mengalami penurunan pada hari setelahnya.

Penambahan variasi nutrisi, lama inkubasi berbeda signifikan terhadap perubahan pH medium. Namun, perubahan pH selama fermentasi oleh *A. niger* masih dalam kisaran pH untuk pertumbuhan *A. niger* yaitu pH 4-5. Pada kondisi pH 4-5 merupakan pH yang optimal untuk pertumbuhan *A. niger*, sehingga kapang dapat melakukan aktivitas yang maksimal. Pada penelitian Widyastuti (2008), dijelaskan bahwa secara umum kapang dapat tumbuh dan menghasilkan berbagai macam enzim pada kisaran pH asam. Kondisi pH yang rendah mempermudah pelepasan enzim selulase, sedangkan kondisi pH yang tinggi menyebabkan pelepasan enzim selulase ke luar sel akan terhambat.

Pertumbuhan dan perkembangbiakan mikroorganisme dapat ditandai dengan semakin bertambahnya berat sel dan semakin bertambahnya jumlah sel itu. Hal ini dapat tercapai jika faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangbiakan mikroorganisme, seperti suhu, pH, dan nutrisi yang diperlukan terpenuhi. Nilai pH juga dipengaruhi oleh produk yang dihasilkan selama proses fermentasi. Biasanya pH optimum pertumbuhan sel berbeda dengan pH optimum aktivitas enzim. Pada umumnya pH optimum untuk beberapa enzim adalah sekitar larutan netral atau asam lemah (Murni, dkk. 2011).

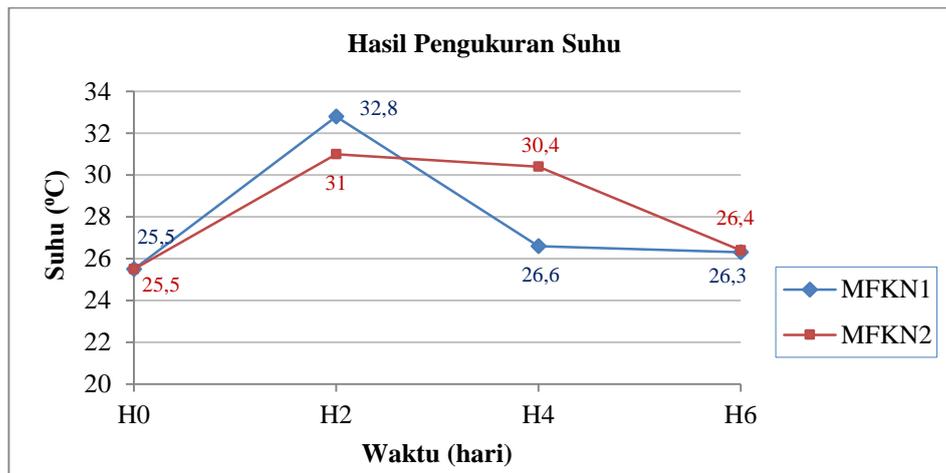
Proses fermentasi Limbah Cair Nanas memberikan pengaruh yang cukup berarti bagi perubahan keasaman, dengan pola awal pH meningkat kemudian menurun. Fermentasi menggunakan EM-4 dan Bokashi (Jones and Brassington, 1998), perubahannya mempunyai pola yang mirip, yaitu mula-mula pH turun kemudian meningkat kembali. Ini membuktikan bahwa selama proses fermentasi selain adanya peruraian polimer juga terjadi pembentukan senyawa asam- asam organik sebagai hasil antara yang kemudian akan segera dibentuk menjadi senyawa lain atau gas yang sifatnya tidak asam, misal gas sulfida, fenol, ligno-proteinat, dan sebagainya, sehingga pH menjadi meningkat (Susanto, 2011).

Hasil Analisis Suhu

Hasil analisis suhu pada MFKN1 dan MFKN2 selama fermentasi dapat dilihat pada Table 6 dan Gambar 5.

Tabel 6. Hasil Analisis Suhu

Medium Fermentasi	Suhu (°C)			
	H0	H2	H4	H6
MFKN1	25,5	32,8	26,6	26,3
MFKN2	25,5	31,0	30,4	26,4



Gambar 5. Grafik hubungan waktu fermentasi terhadap suhu

Keterangan :

MFKN1 : Media Fermentasi Kulit Nanas + KH_2PO_4 + Gula

MFKN2 : Media Fermentasi Kulit Nanas + 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 *A.niger* yaitu berkisar antara 35°C - 37°C . Pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa hasil pengukuran suhu pada media MFKN1 mengalami peningkatan suhu pada waktu fermentasi hari ke-2 dan setelahnya mengalami penurunan pada waktu fermentasi hari ke-4 dan ke-6. Pada media MFKN2 juga mengalami peningkatan pada waktu fermentasi hari ke-2 dan mengalami penurunan pada waktu fermentasi hari ke-4 dan ke-6. Suhu yang didapat pada media MFKN1 dan media MFKN2 cenderung stabil berkisar 25°C -

32°C.

Aspergillus niger dapat tumbuh pada suhu optimum 35°C-37°C, minimum 6°C-8°C, maksimum 45°C-47°C dan memerlukan oksigen yang cukup. Di atas suhu optimum, kecepatan reaksi menurun tajam karena enzim sebagai protein akan terdenaturasi, sedangkan pada suhu terlalu rendah enzim tidak dapat bekerja. Selain itu, kelembapan juga dapat mempengaruhi aktivitas enzim, berkaitan dengan pertumbuhan kapang. Genus *Aspergillus* dapat tumbuh baik pada kelembapan nisbi 80% (Marlinda, 2017).

Seperti protein lainnya, enzim dapat terdenaturasi pada suhu tertentu, perilaku kimia, dan kondisi ekstrim lainnya. Konsekuensinya pemanfaatan enzim terbatas pada rentang suhu dan pH tertentu. Karena enzim merupakan suatu protein, maka kenaikan suhu dapat menyebabkan terjadinya proses denaturasi. Apabila terjadi proses denaturasi, maka bagian aktif enzim akan terganggu dan dengan demikian konsentrasi efektif enzim menjadi berkurang dan kecepatan reaksinya pun akan menurun (Murni, 2011).

Hasil Analisis Data

Hasil uji normalitas dari kadar protein, diketahui nilai p (Sig.) $0.146 > 0.05$ 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 kadar protein, diketahui jika standar deviasi bernilai konstans, maka berdasarkan hasil tersebut pengujian hipotesis penelitian tidak dapat dilanjutkan.

Hasil uji normalitas dari berat kering sel, diketahui nilai p (Sig.) $0.724 > 0.05$ maka H_0 diterima data berdistribusi normal. Sehingga data dalam penelitian ini berasal dari populasi dalam sebaran yang normal dan dapat dilakukan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa limbah kulit nanas dapat menghasilkan protein sel tunggal (PST) dari kultur *Aspergillus niger*, dan terdapat perbedaan hasil produksi protein yang berbeda antara media MFKN1 dan media MFKN2, dimana hasil kadar protein pada media MFKN2 (0,80%) lebih tinggi dibandingkan media MFKN1 (0,59%).

Saran

Disarankan pada peneliti selanjutnya untuk melakukan penelitian memproduksi protein sel tunggal dari kultur *Aspergillus niger* dengan medium limbah yang memiliki sumber nutrisi yang baik seperti karbon, nitrogen, dan mineral. Peneliti selanjutnya diharapkan melakukan penelitian pembuatan protein sel tunggal dalam berbagai variasi suhu dan pH.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih banyak kepada pihak-pihak yang telah membantu peneliti melakukan penelitian, hingga menyelesaikan penulisan naskah jurnal ini, terutama dosen pembimbing, orangtua, dan sahabat.

REFERENSI

- AOAC. (1990). Official methods of analysis (Method 986-29, 15th ed.). Washington D.C.: Association of Official Analytical Chemist.
- Azizah, N., Al-Barrii, A. N., & Mulyani, S. (2012). Pengaruh lama fermentasi terhadap kadar alkohol, pH, dan produksi gas pada proses fermentasi bioetanol dari whey dengan substitusi kulit nanas. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 1(3), 72–78.
- Barus, A. (2008). *Agroteknologi tanaman buah-buahan*. Medan: USU-Press.
- Basaniah, B., Rahayu, Y. P., Nasution, H. M., & Dalimunthe, G. I. (2024). Produksi protein sel tunggal dari kultur *Bacillus cereus* dengan medium limbah cair tahu. *Vitalitas Medis: Jurnal Kesehatan dan Kedokteran*, 1(2), 129-147.
- Cappucino, J. G., & Sherman, N. (2014). *Manual laboratorium mikrobiologi* (Edisi ke-8, diedit oleh J. Manurung dan H. Vidhayanti). Jakarta: EGC.
- Cooney, C. L. (1981). *Growth of microorganisms in biotechnology*. Weinheim, Germany: Verlag Chemie.
- Harahap, M., Rahayu, Y. P., Lubis, M. S., & Yuniarti, R. (2024). Produksi protein sel tunggal dari kultur *Saccharomyces cerevisiae* dengan medium limbah cair tahu. *Vitalitas Medis: Jurnal Kesehatan dan Kedokteran*, 1(2), 109-128.
- Jasman., & Ramadan, M. A. (2021). Pengaruh jenis perlakuan awal terhadap konsentrasi bioetanol hasil hidrolisis dan fermentasi tongkol jagung menggunakan *Trichoderma reesei* dan *Saccharomyces cerevisiae*. Nusa Tenggara Timur: Universitas Nusa Cendana.
- Kusuma, A. P. (2019). Pengaruh waktu fermentasi limbah nanas (*Ananas comosus* L. Merr) terhadap kualitas fisik dan kandungan nutrien menggunakan *Aspergillus niger*. Malang: Universitas Brawijaya.

- Kuswardani, I., & Wijajaseputra, A. I. (1998). Produksi protein sel tunggal *Phanerochaete chrysosporium* pada media limbah cair tahu yang diperkaya: Kajian optimasi waktu panen. Dalam Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pangan dan Gizi (hlm. 604-613).
- Marlinda. (n.d.). Pengaruh penambahan starter *Aspergillus niger* terhadap konsentrasi asam itakonat dengan substrat gliserol dan molase. Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Muchtadi, D. (1989). Evaluasi nilai gizi pangan. Bogor: Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi, IPB.
- Murni, S. W., Kholisoh, S. D., L., Tanti, D., & Petriessia, E. M. (2011). Produksi, karakterisasi, dan isolasi lipase dari *Aspergillus niger*. Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia, ISSN 1693 – 4393, Yogyakarta.
- Napitupulu, K. J., Rahayu, Y. P., Nasution, H. M., & Lubis, M. S. (2024). Produksi protein sel tunggal dari kultur *Saccharomyces cerevisiae* dengan medium limbah kulit nanas (*Ananas comosus* L. Merr). OBAT: Jurnal Riset Ilmu Farmasi dan Kesehatan, 2(2), 230-250.
- Nigam, J. N. (1998). Single cell protein from pineapple cannery effluent. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 14, 693-696.
- Nurhayati, N., & Berliana. (2014). Perubahan kandungan protein dan serat kasar kulit nanas yang difermentasi dengan plain yoghurt. Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Peternakan, 15(1).
- Pawignya, H. (2011). Pembuatan protein sel tunggal dari limbah nanas dengan proses fermentasi. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri UPN “Veteran”.
- Rahayu, Y. P. (2018). Uji aktivitas lipase dan biosurfaktan dari bakteri keratinolitik. Dalam *Enterobacter tabaci* PK09 (hlm. 75-80).
- Rahayu, Y. P., & Prasetyo, H. A. (2020). Uji aktivitas bakteri keratinolitik sebagai penghasil biosurfaktan (Assay of keratinolytic bacterial activity to producing biosurfactant). *Pharmauho: Jurnal Farmasi, Sains, dan Kesehatan*, 6(2). <http://dx.doi.org/10.33772/pharmauho.v6i2.12533>
- Soedarmadji, K., & Kasmidjo. (1989). Mikrobiologi pangan. Yogyakarta: PAU Pangan dan Gizi, Universitas Gajah Mada.
- Somaye, F., Marizich, & Lale. (2008). Single cell protein (SCP) production from UF cheese whey by *Kluyveromyces marxianus*. Dalam 18th National Congress on Food Technology, Iran (hlm. 16-18).
- Tannembbaum, S. R., Cooney, C. L., & Deman, A. M. (1978). Non-photosynthetic single cell protein. Dalam M. Kilberg, N. S. Scrimshaw, & D. I. C. Wang (Eds.), Protein resources, technology, status and research needs. Wesport, CT: The AVI Publishing Company.
- Wisda, H., Sediawan, W. B., & Sarto. (2016). Pengaruh aerasi pada fermentasi padat tandan kosong kelapa sawit oleh *Aspergillus niger* terhadap produksi gula sederhana. Universitas Gadjah Mada: Vol. 5(3).