

PEMANFAATAN LIMBAH TAPIOKA SEBAGAI SUBSTRAT DALAM PEMBUATAN PROTEIN SEL TUNGGAL

Oleh :
Endang Suryadi

Utilization Of Tapioca Waste As A Substrate In Producing Single Cell Protein

Abstract :

Utilization of tapioca waste as a substrate in producing single cell protein by batch fermentation system has been conducted. The fermentation was performed at room temperature (29 – 33) °C and set at pH 4,5 by adding 4 N NaOH. Period of fermentation time was 48 hours. The mash in the fermentor was taken by off line analysis, namely (6, 12, 18, 24,30,36,42, and 48) hours of the fermentation period. Consumption of 4 N Na OH for fermentation (6,12, and 18) hours were respectively (3, 8, and 11) ml, whereas the other length of fermentation was not 4N NaOH consumed. The highest specific growth rate was occurred at 6 hours of the fermentation period and the substrate consumed was as much as 84.12%. The different length of fermentation (36, 42, and 48) hours did not give increase in the cell yield coefficient significantly. In the view of time efficiency of the dried cell produced, the best result was at fermentation for 6 hours where (substrate efficiency, cell yield, dry cell mass, and specific growth rate) were respectively (86,69%; 65.99%, 8.65 g /l; and 0.0638 hour⁻¹).

Intisari :

Telah dilakukan penelitian pemanfaatan limbah tapioca sebagai substrat dalam pembuatan protein sel tunggal dengan fermentasi system tertutup(batch). Fermentasi dilaksanakan pada suhu kamar (29 – 33 °C) dan di pH pada 4,5. Periode waktu fermentasi adalah 48 jam. Fermentasi/ cairan fermentasi (mash) dalam fermentor dianalisis pada setiap waktu tertentu, yaitu fermentasi selama (6,12, 18 , 24, 30, 36, 42, dan 48) jam. Konsumsi NaOH 4 N untuk fermentasi (6, 12, dan 18) jam masing-masing adalah (3, 8 dan 11) ml, sedangkan fermentasi lainnya tidak ada NaOH yang dikonsumsi. Laju pertumbuhan spesifik tertinggi terjadi pada fermentasi selama 6 jam dan substrat yang dikonsumsi adalah sebanyak 84,12 %. Perbedaan lama fermentasi (36, 42, dan 48) jam tidak memberikan koefisien hasil sel secara nyata. Dengan memperhatikan efisiensi waktu terhadap masa sel kering yang dihasilkan, hasil terbaik adalah fermentasi selama 36 jam dimana (efisiensi substrat, rendemen sel, masa sel kering, dan laju pertumbuhan spesifik) masing-masing adalah (86,69; 65,99% 8,65/l dan 0,0638 jam⁻¹).

PENDAHULUAN

Protein mikrobial atau lebih dikenal dengan nama PST (protein sel tunggal) atau SCP (single cell protein) adalah protein yang berasal dari mikroorganisme bersel satu atau banyak tetapi sederhana.

*) Staf Peneliti Balai Besar Kimia dan Kemasan

PST didefinisikan sebagai sel mikroba kering seperti bakteri, khamir, kapang dan ganggang yang ditumbuhkan dalam skala besar. PST dipakai untuk konsumsi manusia dan hewan. Produk ini berisi nutrisi lain seperti karbohidrat, lemak, vitamin dan mineral.

Saat ini PST dimanfaatkan sebagai sumber protein dalam bahan makanan campuran yang berasal dari biji-bijian dan digunakan sebagai protein suplemen yang sangat bermanfaat bagi program perbaikan gizi masyarakat. Mengonsumsi PST sebagai bagian makanan manusia bukan peristiwa baru. Sejak jaman purba di Meksiko dan Afrika, di kota Chad telah memanfaatkan algae atau alga biru (*Spirulina maxima*) untuk menambah gizi wanita hamil, karena PST ini mudah dicerna dan mempunyai nutrisi yang baik. Saat ini dengan tidak disadari kita selalu memakannya dalam bentuk campuran makanan, seperti sel ragi yang terdapat dalam adonan roti, tape, bakteri asam laktat dalam keju, kapang yang terdapat dalam makanan dari kedelai dan ikan yang diragikan, seperti tempe, oncom, pindang dan lain-lain. Indonesia merupakan negara agraris yang mampu menyediakan berbagai komoditi hasil pertanian dan industri. Namun demikian, khususnya di negara-negara berkembang sering terjadi masalah krisis pangan. Setelah diteliti ternyata masalah tersebut adalah kekurangan gizi protein yang salah satunya disebabkan terjadinya persaingan ketat konsumsi protein antara manusia dan hewan. PST merupakan jenis protein baru yang dibuat secara teknologi dari mikroorganisme (mikroalga, jamur dan bakteri). Menurut para ahli, PST akan menjadi sumber protein penyelamat di masa mendatang bila protein konvensional (melalui pertanian, peternakan dan perikanan) tidak mencukupi. Bahan dasar untuk memproduksi PST sangat beragam dan dapat berasal dari berbagai limbah, diantaranya hidrokarbon (minyak dan gas bumi) seperti paraffin dengan rantai karbon ($C_{11} - C_{30}$), minyak gas yang bertitik antara (190 – 320) °C, ethanol, methanol, asam asetat, limbah pertanian

dan industri, seperti limbah sulfat dari pabrik bubur kertas, limbah tapioca dan lain sebagainya. Penelitian pemanfaatan limbah tapioca ini diharapkan dapat menghasilkan berbagai manfaat, diantaranya menghasilkan biomassa yang kaya akan protein sel tunggal dan sekaligus dapat mengurangi limbah dimaksud.

TINJAUAN PUSTAKA

Protein sel tunggal (PST) adalah sel mikroba kering, seperti khamir, kapang, bakteri dan ganggang yang ditumbuhkan dalam skala besar. Sel-sel mikroba ini berisi lain seperti karbohidrat, lemak, vitamin dan mineral. Produk PST dapat digunakan sebagai bahan makanan untuk manusia maupun hewan. Proses pembuatan PST adalah pembiakan sel mikroorganisme dalam media cair yang berisi zat hara (substrat dan nutrien) berfungsi sebagai sumber karbon dan energi. Kemudian dieram (difermentasikan) dengan sistem terputus (batch) atau sistem terbuka (continue). Masa sel yang dihasilkan setelah dikeringkan disebut protein sel tunggal (PST). Berbagai macam kapang, khamir, bakteri dan ganggang dapat digunakan pada pembuatan protein sel tunggal. Namun demikian mikroba yang paling banyak digunakan adalah golongan khamir, seperti *Candida utilis*, *C. guilliermondii*, *C. lipolytica*, *C. tropicalis*, *Torulopsis candida*, *T. methanosorbosa*, *Pichia*. Sp, *Debarmyces kloetkeri*, *Kluyveromyces*, *Hansenula polymorpha*, *Rhodo torula* dan lain-lain. Pada sistem terputus, kultur (mikroorganisme) dan medium dicampurkan menjadi satu (sistem adonan). Kemudian dieram (difermentasikan) dengan jangka waktu tertentu, biasanya dalam interval waktu yang pendek lalu -

dipanen sekaligus. Dalam sistem ini kondisi lingkungan pertumbuhan selalu berubah. Pada sistem terbuka, kultur dibiakan pada medium yang diumpangkan secara sinambung (continue) dan pada saat yang bersamaan, masa sel dipanen/diambil secara sinambung pula. Dalam sistem ini, kondisi lingkungan seperti konsentrasi sel dan laju pertumbuhan spesifik tidak mengalami perubahan dengan bertambahnya waktu fermentasi. Dalam produksi PST, penyediaan dan persiapan substrat merupakan langkah yang penting. Proses tersebut adalah sterilisasi media dan udara serta pengaturan pH, suhu dan nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroorganisme secara optimal. Selama proses propagasi, pH dan suhu perlu disesuaikan. Nilai pH sangat mempengaruhi asam amino dan protein kasar yang dihasilkan. Nilai pH optimum untuk pertumbuhan bakteri 6,5 – 7,5 dan khamir 4,5 – 5,5. Oksigen diperlukan sebagai akseptor elektron dalam metabolisme untuk mendapatkan energi dengan cara respirasi aerobik (oksibiotik). Kebutuhan oksigen bagi pertumbuhan mikroorganisme tergantung kepada jenis sumber karbon dan efisiensi penggunaannya oleh mikroorganisme tersebut dan biasanya berkisar antara 2,2 – 2,6 kg oksigen per kg biomassa. Untuk keperluan praktis, komponen-komponen penting penyusun medium dikelompokkan menjadi dua, yaitu substrat dan nutrisi. Substrat merupakan sumber karbon dan energi. Nutrisi merupakan penyedia unsur makro (N, P, K, Mg) dan mikro (Mn, Zn, Cu, Na, Cl dan Vitamin). Bahan dasar yang digunakan sebagai substrat untuk pembuatan protein sel tunggal sangat beragam, misalnya hidrokarbon (minyak dan gas bumi), etanol, metanol, limbah pertanian dan industri seperti tapioca, limbah cair

sulfit dari pabrik bubur kertas dan lain sebagainya. Bila bahan baku yang digunakan karbohidrat dan mikroorganisme yang dibiakan tidak menghasilkan enzim amilolitik, maka bahan baku tersebut harus dihidrolisis terlebih dahulu. Hidrolisis pati dapat dilakukan dengan katalis asam ataupun enzim. Hidrolisis dengan asam dapat digunakan asam sulfat atau khlorida pada kondisi misalnya (pH, suhu dan tekanan) masing masing (2,3; 120 – 135°C dan 3 kg/cm³). Hidrolisis dengan enzim, proses deks-trinasi menggunakan enzim α -amilase (endo-enzim) yaitu suatu enzim yang kerjanya memutus ikatan (α -1,4) pada pati sehingga dihasilkan dekstrin dengan rantai sepanjang (6 – 10) unit glukosa, kemudian sakarisasi menggunakan amiloglukosidase (*Aspergillus niger*) yaitu suatu enzim yang bekerja selain memotong ikatan (α -1,4) juga dapat memotong ikatan (α -1,6) sehingga dihasilkan molekul-molekul glukosa dalam bentuk bebas. Pertumbuhan mikroorganisme secara terputus (batch) yang diumpangkan pada medium tertentu, umumnya ditentukan dengan mengukur masa sel. Pertumbuhan tersebut mempunyai tiga fase, yaitu fase awal/perlambatan (lag phase), eksponensial dan stasioner. Fase awal adalah fase inokulasi medium dan merupakan fase adaptasi. Selama fase ini, masa sel dapat berubah tanpa adanya perubahan jumlah sel. Bila perubahan-perubahan telah terjadi, maka sel-sel akan bergerak ke arah fase tumbuh. Fase ini biasanya merupakan fase eksponensial atau logaritmik. Fase logaritmik merupakan keadaan pertumbuhan yang seimbang atau mantap (steady state) dengan fase pertumbuhan spesifik (μ) konstan. Sepanjang fermentasi, komposisi cairan fermentasi -

(mash) berubah karena substrat dan nutrisi dikonsumsi, akibatnya kondisi fermentasi berada dalam keadaan tidak mantap (unsteady state). Fase stasioner terjadi bila seluruh sel berhenti membagi diri atau bilamana sel-sel hidup telah mencapai keseimbangan dengan sel-sel mati, yaitu dengan kecepatan kematian. Bila fermentasi dilanjutkan, beberapa kejadian masih mungkin timbul, misalnya meskipun pertumbuhan telah terhenti, metabolisme dan akumulasi produk masih terjadi di dalam sel atau di dalam cairan.

METODOLOGI PENELITIAN

A. BAHAN

- Biakan murni *Candida utilis*
- Limbah tapioka
- NaOH 4 N
- HCL 1 N
- Amonium sulfat
- Kalium dihidrogen fosfat
- Magnesium Sulfat

B. PERALATAN

- Autoklaf
- Oven
- Mesin kocok-putar (centrifugal shaker)
- Seperangkat alat fermentasi
- Seperangkat alat pengujian

C. SUBSTRAT DAN BAHAN MINERAL

Substrat dibuat dengan mensuspensikan onggok segar dalam air (1 : 5). Hidrolisis dilakukan pada pH 1,5 dengan HCl 1 N selama 90 menit, kemudian disaring dan kadar gula substrat ditetapkan secara Luff. Garam-garam mineral dibuat dengan melarutkan ammonium sulfat, kalium dihidrogen fosfat dan magnesium sulfat

dalam air suling dan disterilkan selama 15 menit dalam autoklaf.

D. REGENERASI KULTUR DAN PEMBUATAN STARTER

Satu tabung kultur murni *Candida utilis* dibiakan pada agar miring (diregenerasi) selama dua hari. Kemudian diinokulasikan ke dalam hidrolisat limbah tapioka selama satu hari, keesokan harinya ditambah lagi 100 ml hidrolisat tersebut. Bila jumlah sel telah mencapai sekitar 10^7 sel/ml, kemudian difermentasikan dalam propagator

E. FERMENTASI

Fermentasi utama dilaksanakan dalam fermentor/propagator berkapasitas 2,5 l yang dilengkapi dengan alat untuk memonitor suhu (termometer), pengaduk berimpeler yang dijalankan pada kecepatan 500 rpm, pengatur pH dengan larutan NaOH di set pada 4,5 pada panjang kayuhan (stroke length) 20 dan alat untuk memasukan udara (sparger); dalam hal ini aerasi dilakukan dengan kecepatan tertentu agar tidak terjadi limpahan busa yang berlebihan. Sebanyak 2 l substrat dimasukan ke dalam fermentor, dibubuhi nutrisi hingga berisi (2,72; 0,27; dan 0,34) g/l garam-garam (ammonium sulfat, kalium dihidrogen sulfat dan magnesium sulfat) serta 200 ml starter. Kemudian diaduk beberapa saat hingga homogen, dihentikan dan dipipet 10 ml cairan tersebut untuk pengukuran konsentrasi substrat awal (S_0) secara Luff dan konsentrasi masa sel awal (X_0) dengan cara penentuan bobot kering sel (metoda langsung). Selanjutnya aerator, pengaduk dan pengatur pH dijalankan lagi, lalu di-

fermentasikan selama periode waktu 48 jam, setiap 6 jam sekali cairan fermentasi (mash) dipipet dan dikerjakan seperti di atas untuk pengukuran jumlah substrat yang dikonsumsi (S_t) dan penambahan konsentrasi masa sel (X_t).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis komposisi limbah tapioka yang digunakan sebagai bahan baku dimaksudkan untuk mengetahui kandungan karbohidrat dan gula. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada table 1.

Tabel 1. Komposisi kimia onggok

Komponen	Jumlah (%)
Karbohidrat	7,22
Air	89,74
Abu	0,05
Protein	0,37
Serat kasar	1,40

Suspensi onggok dalam air (1 : 5) dihidrolisis dalam autoklaf pada kondisi (pH, suhu dan tekanan) masing-masing (1,5; 121 °C; 1,2 atm) selama 90 menit, menghasilkan hidrolisat dengan kandungan total gula 1,53 % dihitung sebagai glukosa atau 14,91 % bahan kering. Data

hasil fermentasi dan perhitungan masing-masing dapat dilihat pada table 2, 3, dan 4. Evolusi panas selama fermentasi erat hubungannya dengan penggunaan sumber karbon dan energi. Pada saat sumber karbon dijadikan masa sel, entalpi yang ada disimpan dalam biomasa dan selebihnya dijadikan panas. Konversi senyawa organik menjadi PST oleh mikroba yang tidak berfotosintesis dapat diilustrasikan sebagai berikut :

Sumber karbon organik + sumber nitrogen + mineral bahan nutrisi + oksigen $\rightarrow$ PST + CO₂ + H₂O + panas.

Pada percobaan ini, fermentasi dilakukan pada suhu kamar dan dimonitor oleh piranti sederhana (termometer) yang dicelupkan ke dalam fermentor. Pada table 2 terlihat bahwa suhu cairan fermentasi (mash) berkisar antara 29 – 33 °C. Suhu mash awal 30 °C, pada saat fermentasi berjalan 6 jam, suhu meningkat menjadi 33 °C. Hal ini menunjukkan adanya reaksi sumber karbon dengan bahan lainnya seperti diilustrasikan pada stokiometri kimia pertumbuhan dan pembentukan produk. Ketika sumber karbon dimetabolisasikan untuk pemeliharaan sel, seluruh entalpi yang tergabung dengan pembakaran dilepaskan sebagai panas. Jumlah panas tersebut mempunyai hubungan erat dengan stokiometri pertumbuhan, sedangkan besarnya evolusi panas sebanding dengan kinetika proses.

Tabel 2. Hasil fermentasi dari beberapa titik waktu

Fermentasi (Jam)	Suhu (°C)		NaOH 4 N (ml)		Subtrat (%)		MSK (%)	
	I	II	I	II	I	II	I	II
0	31	30	0,0	0,0	1,361	1,359	0,086	0,088
6	33	33	3,0	3,0	0,216	0,216	0,193	0,191
12	30	30	8,0	8,5	0,215	0,213	0,210	0,219
18	29	29	11,0	11,0	0,198	0,198	0,253	0,254
24	31	30	0,0	0,0	0,186	0,184	0,280	0,278
30	33	32	0,0	0,0	0,184	0,184	0,332	0,330
36	31	30	0,0	0,0	0,182	0,180	0,867	0,863
42	30	30	0,0	0,0	0,170	0,170	0,870	0,876
48	31	31	0,0	0,0	0,140	0,141	0,972	0,930

Tabel 3. Rata – rata konsentrasi substrat(S) dan masa sel kering total (X) pada masing-masing lama fermentasi

Fermentasi	S(g/l)	X (g/l)
0	13,60	0,87
6	2,16	1,92
12	2,14	2,15
18	1,98	2,54
24	1,85	2,79
30	1,84	3,31
36	1,81	8,65
42	1,70	8,73
48	1,41	9,51

Tabel 4. Hasil perhitungan untuk data table 3

Fermentasi (jam)	ΔS (g/l)	ΔX (g/l)	$\Delta S/S$ (%)	$\Delta X/\Delta S$ (%)	μ (Jam ⁻¹)
6	11,44	1,05	84,12	9,18	0,1320
12	11,46	1,28	84,27	11,17	0,0754
18	11,62	1,67	85,44	14,37	0,0595
24	11,75	1,92	86,40	16,34	0,0486
30	11,76	2,44	86,47	20,75	0,0445
36	11,79	7,78	86,69	65,99	0,0638
42	11,90	7,86	87,50	66,05	0,0549
48	12,19	8,64	89,63	77,21	0,0498

- ΔS = Jumlah substrat yang dikonsumsi
 ΔX = Jumlah masa sel yang terbentuk
 $\Delta S/S$ = Efisiensi penggunaan substrat
 $\Delta X/\Delta S$ = Koefisien hasil sel
 μ = Laju pertumbuhan spesifik

Kekuatan ion hidrogen (pH) medium merupakan faktor penting yang mempengaruhi pertumbuhan dan pembentukan produk. Pada percobaan ini, sebagai sumber nitrogen digunakan ammonium sulfat. Dalam larutan di bawah pH 9, garam tersebut terdisosiasi menjadi ion ammonium (NH_4^+). Kemudian mikroorga-

nisme menggabungkannya dengan sel membentuk $R - NH_3^+$ (R adalah gugus karbon/carbon skeleton). Setiap pengikatan ion NH_3 akan dilepaskan sebuah ion H^+ , sehingga selama proses berlangsung, pH medium akan semakin menurun. Untuk ini agar pH tidak dibawah 4,5; ke dalam medium ditambah larutan NaOH.

Pada tabel 2 terlihat bahwa fermentasi selama (6, 12, dan 18) jam, larutan NaOH yang dikonsumsi masing-masing (3, 8 dan 11) ml. Sedang fermentasi pada fermentasi setelah 18 jam tidak terdeteksi adanya larutan NaOH yang dikonsumsi. Fenomena adanya larutan NaOH yang dikonsumsi ini, menunjukkan adanya pertumbuhan dan pembentukan produk. Efisiensi penggunaan substrat dinyatakan sebagai rasio antara jumlah substrat yang dikonsumsi terhadap substrat awal. Pada table 4, terlihat bahwa 11,44 g/l substrat telah dikonsumsi pada fermentasi selama 6 jam atau efisiensinya sebesar 84,12 %. Bila dibandingkan dengan fermentasi selama 12 hingga 48 jam, efisiensi tersebut tidak mempunyai perbedaan yang berarti, sehingga dalam hal ini dapat dikatakan bahwa pada fermentasi selama enam jam telah banyak sekali substrat yang dikonversi. Hal ini disebabkan pada saat itu, biakan memerlukan bahan makanan (substrat dan nutrien) untuk keperluan hidupnya. Bahan makanan yang telah diserap ke dalam sel kemudian digunakan oleh sel melalui proses yang disebut metabolisme, dalam hal ini adalah bioenergi. Pada proses bioenergi, substrat dan nutrien digunakan sebagai sumber energi atau penerima elektron. Dalam suatu sel, molekul substrat (glukosa) dioksidasi membentuk karbon dioksida dan air : $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 = 6 CO_2 + 6 H_2O + \text{energi}$. Proses tersebut membebaskan sejumlah energi yang dapat dimanfaatkan oleh sel, misalnya untuk perkembangbiakan, pemeliharaan dan lain sebagainya. Masa sel kering adalah masa sel yang dihasilkan pada waktu tertentu kemudian dikeringkan dengan metoda penentuan bobot kering sel (metoda langsung). Rasio antara peningkatan masa sel kering terhadap substrat yang dikonsumsi dinyatakan sebagai koefisien hasil sel; data tersebut dapat di-

lihat pada table 4. Pada tabel tersebut terlihat bahwa walaupun telah banyak substrat yang dikonsumsi pada fermentasi 6 jam, namun masa sel total ($X_t = 1,92$) g/l atau pertambahannya hanya ($dx = 1,05$) g/l. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi substrat yang banyak pada awal fermentasi tidak serta merta diikuti oleh penambahan jumlah masa sel yang banyak. Kenaikan jumlah sel secara nyata terjadi setelah fermentasi 30 jam. Perbedaan lama fermentasi (36, 42, dan 48) jam tidak memberikan peningkatan masa sel secara nyata. Pertumbuhan mikroba dicirikan dengan waktu yang dibutuhkan untuk menggandakan masa sel atau jumlah sel. Waktu ganda masa dapat berbeda dengan waktu gansa sel, karena masa sel dapat meningkat tanpa peningkatan jumlah sel. Selama fase pertumbuhan eksponensial, pertumbuhan dinyatakan sebagai ($dx/dt = \mu x$) atau ($x_t = x_0 \cdot e^{\mu t}$). Nilai laju pertumbuhan spesifik, μ akan mencapai maksimum pada saat setiap sel mempunyai kemampuan untuk membelah, dengan meningkatnya waktu (t) jumlah sel akan semakin meningkat. Pada table 4 terlihat bahwa masa sel total tertinggi adalah pada fermentasi selama 48 jam ($x_t = 9,51$ g/l) atau peningkatannya ($dx = 8,64$ g/l). Pertumbuhan mikroba ditandai dengan meningkatnya masa sel, sedangkan kecepatan pertumbuhan bergantung pada lingkungan fisik dan kimianya. Pada kecepatan eksponensial ($dx/dt = \mu x$), laju pertumbuhan spesifik (μ) merupakan suatu konstanta. Dalam kenyataannya seperti terlihat pada table 4, μ tidak konstan, tetapi semakin menurun dengan semakin lamanya waktu fermentasi. Pada table 4 terlihat bahwa laju pertumbuhan spesifik tertinggi adalah pada fermentasi selama 6 jam ($0,1320 \text{ jam}^{-1}$) dan terendah pada fermentasi 48 jam ($0,0498 \text{ jam}^{-1}$).

Hal ini disebabkan bahwa suplai substrat dan nutrisi pada fermentasi 6 jam masih tersedia, sehingga setiap sel mempunyai kemampuan untuk membelah dan laju pertumbuhan tidak terpengaruh oleh kondisi lingkungan untuk beberapa saat bernilai konstan. Makin lama fermentasi, suplai substrat dan nutrisi makin habis dan konsentrasi metabolit yang dapat menghambat pertumbuhan semakin tinggi, sehingga laju pertumbuhan spesifik semakin rendah. Bila diseluruh sel berhenti membagi diri atau bila sel-sel hidup mencapai keseimbangan dengan sel-sel mati, yakni dengan kecepatan kematian (α), metabolisme dan akumulasi produk masih terjadi di dalam sel atau di dalam cairan, dan masa sel dapat tetap konstan, tetapi jumlah sel hidup cenderung menurun.

KESIMPULAN

1. Limbah tapioka dengan kadar air 89,74% mengandung 70,37 karbohidrat dan 14,91% atas dasar bahan kering.
2. Suhu cairan fermentasi (mash) berkisar antara 29 – 33 °C. Jumlah NaOH 4 N yang dikonsumsi untuk fermentasi selama (6; 12 dan 18) jam masing-masing (3; 8 dan 11) ml
3. Perbedaan lama fermentasi tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan terhadap jumlah substrat yang dikonsumsi. Pada fermentasi selama 6 jam, jumlah substrat yang dikonsumsi adalah sebanyak 84,12 %
4. Laju pertumbuhan spesifik tertinggi terjadi pada fermentasi 6 jam. Semakin lama waktu fermentasi, semakin kecil laju pertumbuhannya
5. Peningkatan masa sel dengan perbedaan yang signifikan terjadi pada fermentasi setelah 30, jam. Hal ini

mungkin menunjukkan bahwa waktu ganda sel berbeda dengan waktu ganda masa, waktu ganda masa dapat meningkat tanpa adanya peningkatan jumlah sel

6. Perbedaan lama fermentasi (36, 42, dan 48) jam tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan. Dengan memperhatikan efisiensi waktu dan masa sel yang dihasilkan, hasil terbaik adalah fermentasi selama 36 jam dengan (koefisien substrat, rendemen sel, masa sel kering, dan laju pertumbuhan spesifik) masing – masing (86,69 % ; 65,99%; 8,65g/l dan 0,0638 jam⁻¹)

DAFTAR PUSTAKA

1. Aiba.S, A.E. Hunphrey dan N.F. Millis. Biochemical Engineering Academy Press Inc. New York, 1973.
2. Furukawa.K.E.heinzle dan I.J.Dunn. Influence of Oxygen on The Growth of *Sacharomyces cerevisiae* in Continous Culture, 1983.
3. Mark. J.L. Revolusi Bioteknologi. Diterjemahkan oleh Wildan Yatim Penerbit Yayasan Obor Indonersia Jakarta, 1991.
4. Rahman.A. Teknologi Fermentasi I. Penerbit Arcan Jakarta, 1992.
5. -----Teknologi Fermentasi II. Penerbit Arcan Jakarta, 1992.
6. Said.E.G. Bioteknologi. Penerapan Teknologi Fermentasi. Penerbi PT. Medyatama Sarana Perkasa Jakarta, 1987.

7. Smith. E.J. Prinsip Bioteknologi. Alih bahasa oleh Dr. Usman F, Sumo. Bambang Sumantri dan Agus Subono. Penerbit Gramedia Pustaka Utama Jakarta, 1993.
8. Soeharto. Ign. Bioteknologi dalam Dunia Industri. Penerbit Andi Offset Yogyakarta, 1995.
9. Winarno. F.G. Bahan Pangan Terfermentasi. Institut Pertanian Bogor, 1981.
10. Winarno. F.G. dan Fardiaz. S. Biofermentasi dan Biosintesa Protein Penerbit Angkasa Bandung 1981.

-----ooooo00000ooooo-----