

## STUDI PENGEKANGAN SEL KHAMIR *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* PADA MATRIKS POLIMER DENGAN TEKNIK RADIASI, 3. KOMBINASI MONOMER HEA, (14G, A-14G, 9G) DAN H<sub>2</sub>O

Nikhām

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi - Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK

STUDI PENGEKANGAN SEL KHAMIR *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* PADA MATRIKS POLIMER DENGAN TEKNIK RADIASI, 3. KOMBINASI MONOMER HEA, (14G, A-14G, 9G) DAN H<sub>2</sub>O. Telah dilakukan penelitian pengekgangan sel khamir *Saccharomyces cerevisiae* pada matriks polimer dengan teknik iradiasi. Kombinasi berbagai monomer yaitu 2-hidroksietil akrilat (HEA), polietilen glikol-600-dimetakrilat (14G), tetra dekaetilen glikol diakrilat (A-14G), polietilen glikol-400-dimetakrilat (9G) dan H<sub>2</sub>O, diiradiasi pada sinar  $\gamma$  dengan dosis 10 kGy, laju dosis 5 kGy/jam pada suhu -78 °C. Setelah diiradiasi didapatkan bahwa kombinasi I (HEA 5 - 25%, 14G 5 - 20%, H<sub>2</sub>O 70 - 90%), II (HEA, A-14G 5 - 10%, H<sub>2</sub>O 80 - 90%), dan III (HEA 5 - 15%, 9G 5 - 10%, H<sub>2</sub>O 80 - 85%), dapat membentuk matriks yang berpori. Matriks tersebut diukur daya serapnya terhadap air dan daya serap kompositnya. Selanjutnya khamir tersebut dikekang pada matriks dan proses fermentasi dilangsungkan. Hasilnya menunjukkan bahwa kadar etanol dari media A (molase 16%), oleh sel bebas sekitar 6,5%, dan oleh sel terkekang pada matriks kombinasi I: 4,9 - 6,9%, II: 5,7 - 6,7%, dan III: 6,4 - 7,1%. Kadar etanol dari media B (glukosa 16%) oleh sel bebas 9,6%, dan oleh sel terkekang pada matriks kombinasi I: 10,0 - 13,4%, II: 10,0 - 12,0%, dan III: 9,2 - 13,4%. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa kadar etanol dari media B, oleh sel terkekang pada matriks tersebut cenderung lebih tinggi daripada yang dihasilkan oleh sel bebas.

### ABSTRACT

STUDY OF IMMOBILIZATION *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* YEAST CELL ON POLYMER MATRICES USING RADIATION TECHNIQUE, 3. COMBINATION OF MONOMER HEA, (14G, A-14G, 9G) AND H<sub>2</sub>O. A study of immobilization *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells on polymer matrices with irradiation technique has been done. The combination of various monomers i.e. 2-hydroxyethyl acrylate (HEA), polyethylene glycol-600-dimethacrylate (14G), tetra-decaethylene glycol dimetacrylate (A-14G), polyethylene glycol-400-dimethacrylate (9G), and H<sub>2</sub>O were irradiated with  $\gamma$  ray at a dosage of 10 kGy, dose rate 5 kGy per hr, and at temperature -78 °C. After irradiation, the three types combination of composites i.e. I (HEA 5 - 25%, 14G 5 - 20%, H<sub>2</sub>O 70 - 90%), II (HEA, A-14G 5 - 10%, H<sub>2</sub>O 80 - 90%), and III (HEA 5 - 15%, 9G 5 - 10%, H<sub>2</sub>O 80 - 85%) formed matrices with a porosity. The water absorption, and water contents of the composites were measured. The yeast cells were immobilized on the matrices and fermentation process was carried out. The results showed that the ethanol contents from medium A (molases 16%), by free cells was around 6.5%, and by cells immobilized on the combination I matrices were 4.9 - 6.9%, II were 5.7 - 6.7%, and III were 6.4 - 7.1%. From medium B (glucose 16%), by free cells was 9.6%, and by cells immobilized on the matrices of combination I were 10.0 - 13.4%, II were 10.0 - 12.0%, and III were 9.2 - 13.4%. From the results can be concluded that the ethanol from medium B by cells immobilized on the matrices showed higher than that produced by free cells.

### PENDAHULUAN

Selama dasawarsa terakhir telah berkembang dengan cepat metode yang dapat digunakan untuk pengekgangan sel dan organel [1]. Sehubungan dengan hal tersebut lebih daripada 100 teknik pengekgangan baik enzim maupun sel telah diteliti [2,3]. Dari 100 teknik tersebut dapat dibedakan menjadi beberapa tipe,

misalnya ikatan kovalen dari sel pada pendukung padat, penyerapan sel pada pendukung padat, penjebakan sel pada gel polimerik, ikatan silang sel dengan materi bifungsional dan penjebakan sel dalam kapsul yang dirintis oleh CHANG (4).

Dari sekian banyak teknik pengekgangan sel dan dari beberapa studi pustaka, ternyata



teknik pengeangan sel dengan menggunakan matriks polimer dari kombinasi monomer belum banyak dilakukan. Untuk mengetahui kemungkinan teknik tersebut dapat dipakai, maka sebelumnya perlu dilakukan studi pembuatan matriks polimer dengan teknik iradiasi.

Sel khamir tersebut telah dicoba dikekan pada matriks polimer dari kombinasi monomer hidrofilik (2-hidroksietil akrilat (HEA)), monomer hidrofobik (polietilen glikol-600-dimetakrilat (14G)), tetra-dekaetilen glikol diakrilat (A-14G), polietilen glikol-400-dimetakrilat (9G) dan H<sub>2</sub>O, diiradiasi pada sinar  $\gamma$  dengan dosis 10 kGy. Hal ini dilakukan sebab jika hanya monomer hidrofilik saja, maka tekstur matriksnya cenderung lembek, dan jika hanya monomer hidrofobik saja akan menghasilkan matriks yang teksturnya cenderung keras, sehingga matriks tersebut tidak berpori. Dengan hipotesa ini maka perlu dicoba mengkombinasikan monomer-monomer tersebut, dengan harapan dalam proses radiasi akan terjadi ikatan silang sedemikian rupa, sehingga akan menghasilkan matriks yang berpori.

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu untuk mendapatkan kondisi matriks yang baik, sebagai alat untuk mengekan sel, sehingga dapat dipakai dalam proses fermentasi substrat molase untuk menghasilkan etanol, sebagai pengganti bahan bakar minyak.

## BAHAN

### Bahan

Dalam penelitian ini dipakai sel khamir *Saccharomyces cerevisiae* Hakken yang didapat dari BERDC BPPT, Sulusuban, Lampung. Sel tersebut adalah yang paling umum dipakai untuk memfermentasikan substrat molase untuk mendapatkan produk etanol (5).

Media yang dipakai, disiapkan menurut HARDOYO dan ROSADI (6) yaitu sebagai berikut; I). Media terdiri dari glukosa 1%, pepton 0,5%, yeast extract 0,3%, malt extract 0,3%, agar 1,5%, air suling pada pH 4,8, sebagai media untuk stok kultur. II). Media terdiri dari glukosa 10%, pepton 0,5%, yeast extract 0,3%, malt extract 0,3%, air suling, pada pH 4,8, sebagai media untuk pembiakan. III). Media terdiri dari glukosa 10%, pepton 0,5%, yeast extract 0,3%, air suling pH 4,8, sebagai media untuk memanen sel. IV). Media terdiri dari glukosa 16%, pepton 0,5%, yeast extract 0,3%, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O 0,5%, K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,02%, air suling, pada pH 4,8. V). Media terdiri dari molase 16%, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

0,3%, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 0,02%, air suling, pada pH 4,8. Adapun media IV dan V masing-masing dipakai untuk mengekan sel dan untuk proses fermentasi.

Bahan matriks yang dipakai yaitu terdiri dari kombinasi monomer 2-hidroksietil akrilat (HEA), polietilen glikol-600-dimetakrilat (14G), tetradekaetilen glikol diakrilat (A-14G), polietilen glikol-400-dimetakrilat (9G) dan H<sub>2</sub>O. Semua monomer tersebut diperoleh dari JAERI, Jepang.

## TATA KERJA

### Pembuatan matriks

Kombinasi monomer yang dipakai terdiri dari: Kombinasi I). Dengan komposisi HEA, 14G masing-masing 5 - 25%, dan H<sub>2</sub>O 70 - 90%. Kombinasi II). Dengan komposisi HEA, A-14G masing-masing 5 - 25%, dan H<sub>2</sub>O 70 - 90%. Kombinasi III). Dengan komposisi HEA, 9G masing-masing 5 - 25% dan H<sub>2</sub>O 70 - 90%, dalam tabung reaksi diiradiasi pada sinar  $\gamma$  dengan dosis 10 kGy dan suhu -78 °C. Setelah diiradiasi terbentuklah matriks polimer, kemudian diseleksi, lalu matriks yang baik dipotong-potong menjadi setebal 0,5 cm. Sampel matriks tersebut lalu direndam dalam air suling selama dua hari, untuk menghilangkan monomer tersisa. Kemudian dikeringkan dalam freeze dryer, dan setelah kering diukur daya serap matriks terhadap air, daya serap matriks komposit dan dipakai untuk mengekan sel. Untuk menghitung daya serap matriks terhadap air dipakai rumus sebagai berikut:

Daya serap matriks terhadap air (%) =

$$\frac{W_1}{W_1 - W_2} \times 100\% \quad (1)$$

Dalam hal ini W<sub>1</sub> adalah berat matriks basah setelah direndam, sedangkan W<sub>2</sub> adalah berat matriks kering setelah dikeringkan dalam freeze dryer.

### Komposit matriks sel khamir dan pengukuran daya serap terhadap air dari matriks yang baik

Matriks ditimbang berat awalnya (W<sub>1</sub>), lalu disterilkan dalam otoklaf selama 15 menit. Matriks steril tersebut lalu dimasukkan ke dalam labu yang berisi media V steril, kemudian ditetesi sel khamir sekitar 0,4 ml, seterusnya diinkubasi pada suhu kamar selama tiga hari. Sel khamir tersebut berasal dari stok media I, kemudian dibiakkan pada media II, lalu diperbanyak pada media III. Setelah diinkubasi, matriks yang telah berisi sel khamir, ditimbang lagi



( $W_2$ ), kemudian dikeringkan dalam freeze dryer, lalu ditimbang lagi ( $W_3$ ). Untuk menghitung daya serap kompositnya, dipakai rumus dari Kumakura dan Kaetsu [8] sebagai berikut: Daya serap komposit (%) =

$$\frac{W_1 + W_2}{W_1 + W_2 + W_3} \times 100\%$$

#### Proses pengeangan sel

Untuk melakukan percobaan ini, mula-mula matriks yang baik disterilkan dalam otoklaf selama 15 menit. Setelah steril matriks tersebut kemudian dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer yang berisi media V steril, lalu ditetesi sel khamir sebanyak 0,4 ml dengan konsentrasi sekitar  $10^8$  sel/ml. Selanjutnya diinkubasi pada suhu kamar dan digoyang pada inkubator goyang selama tiga hari.

#### Proses fermentasi

Mula-mula matriks yang telah dipakai dalam proses pengeangan, direndam dalam air suling steril selama 30 menit, lalu dicuci sebanyak tiga kali, untuk menghilangkan substrat yang melekat. Matriks dan sel yang terserap di dalamnya, kemudian dimasukkan ke dalam labu yang berisi media V baru dan steril. Selanjutnya diinkubasi selama 1, 2, 3, 4 hari pada suhu kamar, pada inkubator goyang. Setelah diinkubasi substratnya diambil sekitar 100 ml, kemudian didestilasi pada suhu sekitar  $78^\circ\text{C}$ . Matriks yang telah dipakai dicuci lagi, lalu dipakai lagi untuk proses fermentasi, demikian seterusnya.

#### Pengukuran kadar etanol

Hasil dari destilasi sebanyak 25 ml, diencerkan hingga menjadi 200 ml. Suhnya diatur sekitar  $20^\circ\text{C}$ , kemudian diukur kadar etanolnya dengan alkoholmeter. Skala pada alkoholmeter tersebut dibaca, dan dengan menggunakan tabel khusus kadar etanol, skala ini dikonversikan menjadi harga etanol yang sebenarnya.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan studi pembuatan matriks dari kombinasi I, II, dan III (lihat Tabel 1), yang diiradiasi dengan sinar  $\gamma$ , pada dosis 10 kGy, laju dosis 10 kGy per jam dan suhu  $-78^\circ\text{C}$ . Setelah diiradiasi terbentuk matriks polimer, dengan keadaan teksturnya ada yang keras, ada yang rapuh, ada yang lembek dan ada yang empuk dan berpori. Matriks yang teksturnya empuk dan berpori dipilih sebagai matriks yang baik. Matriks dari kombinasi I yang baik adalah dari nomor 2 - 12 (sekitar 92%). Matriks yang serupa

diperoleh dari kombinasi II yaitu nomor 19 - 24 (sekitar 50%), sedangkan matriks dari kombinasi III hanya nomor 33 - 35 (sekitar 25%). Jadi dari hasil percobaan ini ternyata kombinasi I dapat menghasilkan matriks lebih banyak daripada kombinasi II dan III. Matriks yang teksturnya empuk dan berpori tersebut, kemudian diukur daya serapnya terhadap air, daya serap kompositnya, kemampuan mengekang sel khamir, serta digunakan untuk proses fermentasi. Pengukuran daya serap matriks terhadap air dimaksudkan untuk meyakinkan apakah matriks tersebut betul-betul berpori atau tidak. Jika jumlah porinya sedikit tentunya daya serapnya rendah, atau jika jumlah porinya banyak maka daya serapnya tinggi. Adapun hasil pengukuran daya serap matriks terhadap air dari kombinasi I, II, dan III dapat dilihat pada Gambar 1. Garis-garis horizontal (--) pada Gambar 1 menunjukkan jumlah matriks yang didapat dari kombinasi monomer tersebut. Di sini daya serap matriks terhadap air berkisar antara 80,15 - 88,82%. Didapatkan pula daya serap matriks terhadap air yang lebih daripada 88%, yaitu matriks dari kombinasi monomer dengan komposisi HEA 10 - 15%, 14G 5%, dan  $\text{H}_2\text{O}$  80 - 85%, dan dari kombinasi monomer dengan komposisi HEA 5%, A-14G 10%, dan  $\text{H}_2\text{O}$  85%, serta matriks dari kombinasi monomer dengan komposisi HEA 5%, 9G 10%, dan  $\text{H}_2\text{O}$  85%.

Setelah matriks diketahui kemampuan daya serapnya terhadap air, kemudian dicoba apakah matriks tersebut dapat dipakai untuk mengekang sel. Untuk maksud tersebut maka perlu diukur kemampuan daya serap kompositnya. Yang dimaksud daya serap komposit yaitu kemampuan matriks menyerap sel dan cairan. Adapun hasil pengukuran daya serap komposit matriks, dapat dilihat pada Gambar 2. Di sini daya serap komposit matriks yaitu berkisar antara 72,27 - 82,72%. Daya serap komposit tertinggi sekitar 82,72%, yaitu matriks dari kombinasi monomer dengan komposisi HEA 15%, 14G 5%, dan  $\text{H}_2\text{O}$  80%. Hal ini menunjukkan bahwa matriks tersebut dapat dipakai untuk mengekang sel.

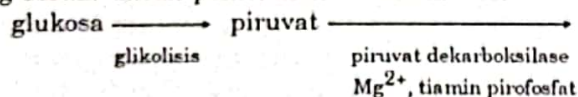
Matriks yang telah diketahui daya serapnya terhadap air dan daya serap kompositnya, kemudian dipakai dalam proses fermentasi. Dalam proses fermentasi ini dicoba dengan menggunakan dua macam media yaitu media A (molase 16%), dan dibandingkan dengan media B (glukosa 16%). Adapun hasil pengukuran ka-



Tabel 1. Kombinasi monomer HEA, (14G, A-14G, 9G) dan H<sub>2</sub>O yang diiradiasi dengan sinar  $\gamma$  pada

Kombinasi I			Kombinasi II			Kombinasi III					
No.	HEA (%)	14G (%)	H <sub>2</sub> O (%)	No.	HEA (%)	A-14G (%)	H <sub>2</sub> O (%)	No.	HEA (%)	9G (%)	H <sub>2</sub> O (%)
1	5	25	70	13	5	25	70	25	5	25	70
2	25	5	70	14	25	5	70	26	25	5	70
3	20	5	75	15	20	5	75	27	20	5	75
4	15	10	75	16	15	10	75	28	15	10	75
5	10	15	75	17	10	15	75	29	10	15	75
6	5	20	75	18	5	20	75	30	5	20	75
7	10	10	80	19	10	10	80	31	10	10	80
8	5	15	80	20	5	15	80	32	5	15	80
9	15	5	80	21	15	5	80	33	15	5	80
10	10	5	85	22	10	5	85	34	10	5	85
11	5	10	85	23	5	10	85	35	5	10	85
12	5	5	90	24	5	5	90	36	5	5	90

dar etanol, menunjukkan bahwa kandungan etanol hasil fermentasi dari media A, oleh sel bebas, rata-rata sekitar 6,5%, oleh sel terkekang pada matriks dari kombinasi I (2 - 12) hasilnya rata-rata berkisar 5,5 - 6,9%. Sedangkan dari media B, oleh sel bebas rata-rata 9,6% dan oleh sel terkekang pada matriks tersebut rata-rata sekitar 10,0 - 13,4% (lihat Gambar 3). Di sini garis-garis horizontal tipis menunjukkan kadar etanol yang didapat atau juga menunjukkan banyaknya matriks tersebut dipakai untuk proses fermentasi. Sedangkan garis-garis horizontal tebal menunjukkan harga rata-rata etanol dari hasil fermentasi tersebut. Hal ini dilakukan untuk mengetahui media mana yang dapat menghasilkan etanol lebih tinggi atau media yang sesuai untuk pembiakan sel khamir ter-



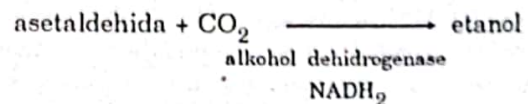
sebut. Dalam proses fermentasi sel khamir ini akan menghasilkan enzim alkohol dehidrogenase yang berfungsi sebagai biosintesis dalam mensintesis substrat glukosa menjadi etanol. Adapun jalannya sintesa sebagai berikut [9]:

Produksi etanol dari fermentasi media A, oleh sel bebas rata-rata sekitar 6,5% dan oleh sel terkekang pada matriks dari kombinasi II (19 - 24) berkisar antara 5,7 - 6,7%. Dari media B, oleh sel bebas rata-rata 9,6%, dan oleh sel terkekang pada matriks tersebut berkisar antara 10,0 - 12,0% (lihat Gambar 4). Pada gambar ini juga terlihat hasil etanol dari media A, oleh sel bebas sekitar 6,5% dan oleh sel terkekang pada

matriks kombinasi III (33 - 35) berkisar antara 6,4 - 7,1%. Sedangkan etanol dari media glukosa 16%, oleh sel bebas sekitar 9,6% dan oleh sel terkekang pada matriks tersebut berkisar antara 9,2 - 13,4%.

Di sini kadar etanol dari dua jenis media tersebut berbeda cukup menonjol, hal ini dimungkinkan bahwa kandungan glukosa dalam media A lebih kecil, dibandingkan dengan media B. Hal ini mungkin disebabkan proses sintesis media A lebih panjang karena dari molase harus dipecah menjadi glukosa dahulu baru kemudian menjadi etanol. Sedangkan untuk media B langsung dipecah menjadi etanol, dengan bantuan enzim dari sel khamir.

Dari hasil-hasil tersebut dapat dilihat bah-

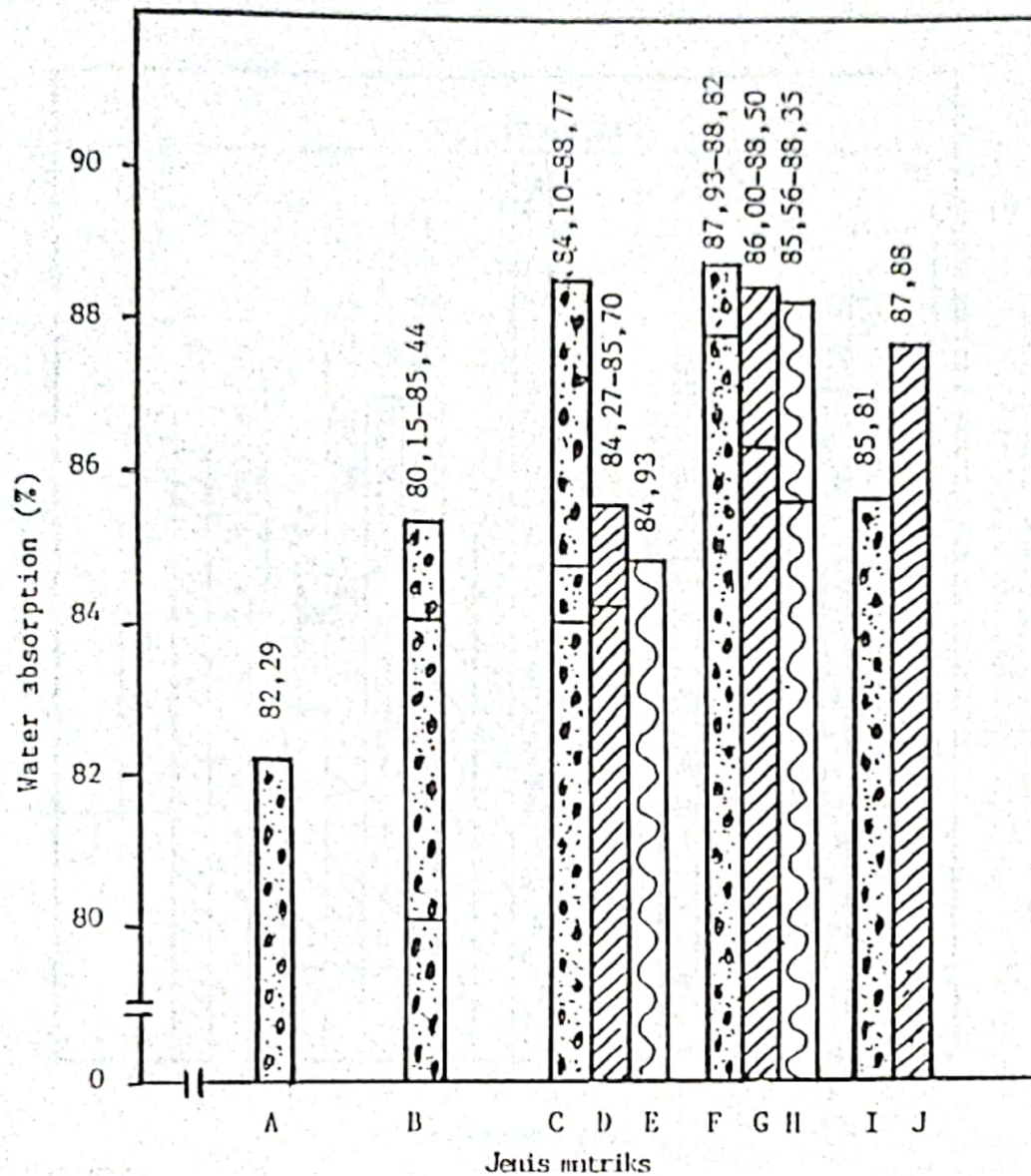


wa tidak ada perbedaan yang berarti antara kadar etanol hasil fermentasi dari media A yang dihasilkan dari sel bebas dan dari sel terkekang. Sedangkan kadar etanol hasil fermentasi dari media B dengan sel terkekang menunjukkan kecenderungan lebih tinggi daripada kadar etanol yang dihasilkan oleh sel bebas.

### KESIMPULAN

Dari data-data hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kemungkinan untuk mendapatkan matriks yang cukup baik, diperoleh dari kombinasi I (2 - 12) yaitu sekitar 92%, jika dibandingkan

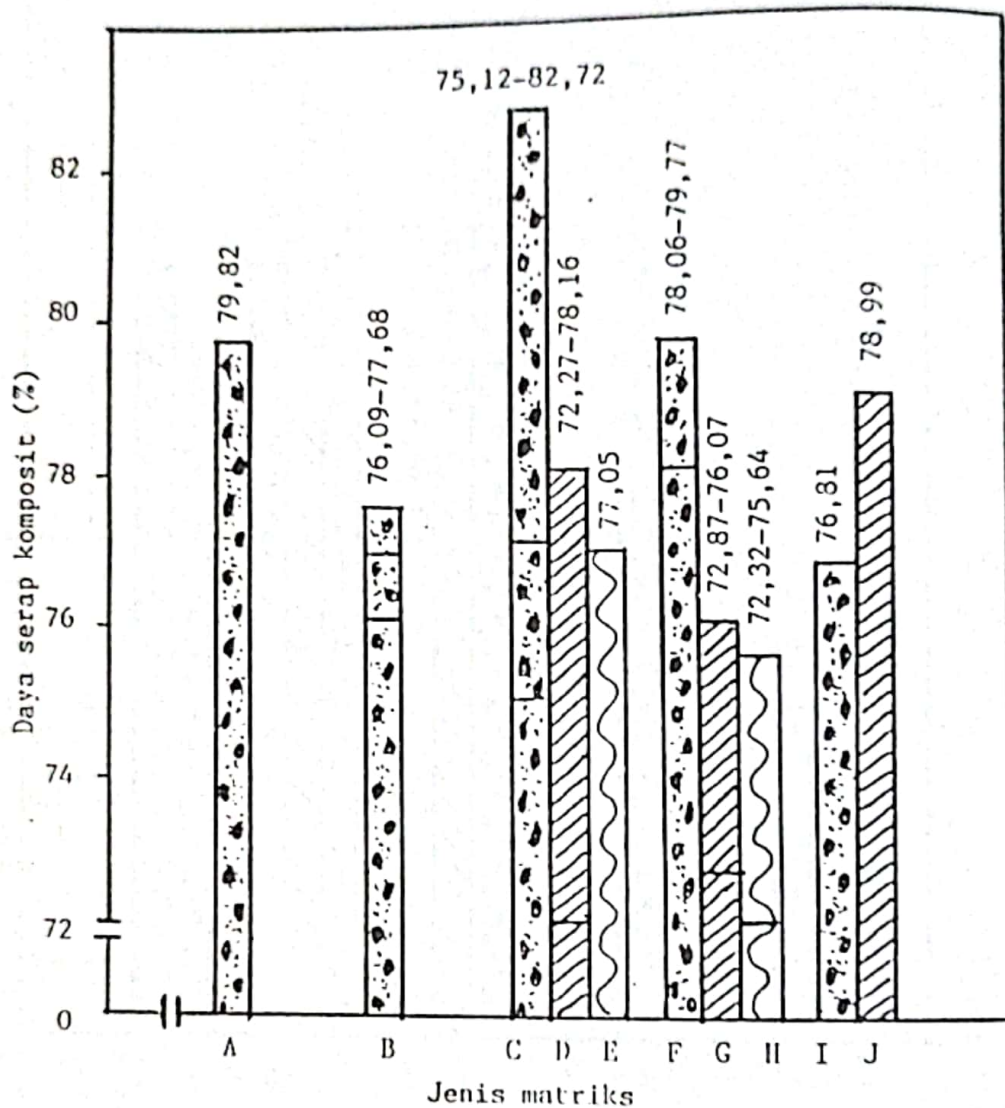


Gambar 1. Daya serap matriks terhadap air dari kombinasi I (●), II (//), dan III (S)

Keterangan:

- A: kombinasi monomer HEA 25%, 14G 5% dan H<sub>2</sub>O 70%
  - B: kombinasi monomer HEA 5 - 20%, 14G 5 - 20% dan H<sub>2</sub>O 75%
  - C: kombinasi monomer HEA 5 - 15%, 14G 5 - 15% dan H<sub>2</sub>O 80%
  - D: kombinasi monomer HEA 10 - 15%, A - 14G 5 - 10% dan H<sub>2</sub>O 80%
  - E: kombinasi monomer HEA 15%, 9G 5% dan H<sub>2</sub>O 80%
  - F: kombinasi monomer HEA 5 - 10%, 14G 5 - 10% dan H<sub>2</sub>O 85%
  - G: kombinasi monomer HEA 5 - 10%, A - 14G 5 - 10% dan H<sub>2</sub>O 85%
  - H: kombinasi monomer HEA 5 - 10%, 9G 5 - 10% dan H<sub>2</sub>O 85%
  - I: kombinasi monomer HEA 5%, 14G 5% dan H<sub>2</sub>O 90%
  - J: kombinasi monomer HEA 5%, A - 14G 5% dan H<sub>2</sub>O 90%
- : Daya serap matriks atau jumlah matriks

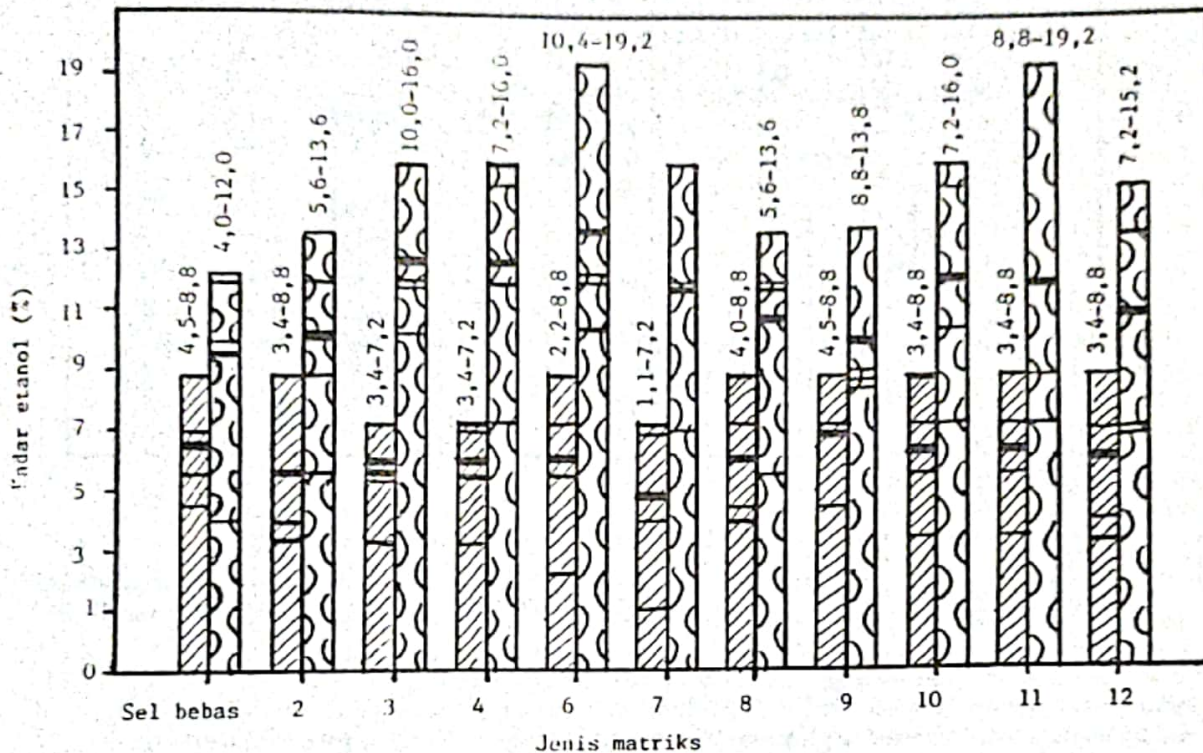




Gambar 2. Daya serap komposit matriks dari kombinasi I (••), II (//), dan III (S)

Keterangan:

- A: kombinasi monomer HEA 25%, 14G 5% dan H<sub>2</sub>O 70%
  - B: kombinasi monomer HEA 5 - 20%, 14G 5 - 20% dan H<sub>2</sub>O 75%
  - C: kombinasi monomer HEA 5 - 15%, 14G 5 - 15% dan H<sub>2</sub>O 80%
  - D: kombinasi monomer HEA 10 - 15%, 14G 5 - 10% dan H<sub>2</sub>O 80%
  - E: kombinasi monomer HEA 15%, 9G 5% dan H<sub>2</sub>O 80%
  - F: kombinasi monomer HEA 5 - 15%, 14G 5 - 15% dan H<sub>2</sub>O 85%
  - G: kombinasi monomer HEA 5 - 10%, A - 14G 5 - 10% dan H<sub>2</sub>O 85%
  - H: kombinasi monomer HEA 5 - 10%, 9G 5 - 10% dan H<sub>2</sub>O 85%
  - I: kombinasi monomer HEA 5%, 14G 5% dan H<sub>2</sub>O 90%
  - J: kombinasi monomer HEA 5%, A - 14G 5% dan H<sub>2</sub>O 90%
- : Daya serap komposit atau jumlah matriks



Gambar 3. Kadar etanol hasil fermentasi dari media molase 16% dan media glukosa 16%, dengan sel khamir yang dikekang pada matriks dari kombinasi I (2 - 12)

**Keterangan:**

/// media molase 16%, < media glukosa 16%, -- kadar etanol (jumlah pemakaian matriks),  
-o- harga rata-rata kadar etanol

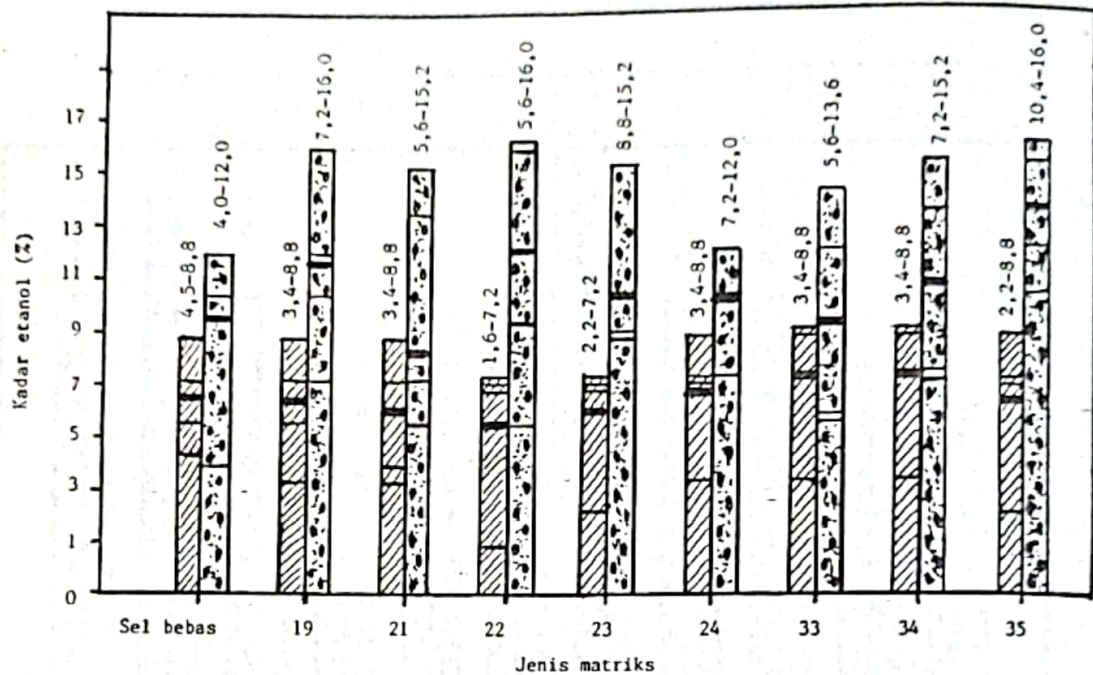
dengan kombinasi II (19 - 24) atau sekitar 50% dan juga dengan kombinasi III (33 - 35) atau sekitar 25% saja. Semua matriks tersebut dapat dipakai untuk mengekang sel khamir.

2. Matriks yang mempunyai daya serap air tertinggi di atas 88% adalah dari kombinasi I (HEA 10 - 15%, 14G 5%, H<sub>2</sub>O 80 - 85%), kombinasi II (HEA 5%, A-14G 10%, H<sub>2</sub>O 85%), dan kombinasi III (HEA 5%, 9G 10%, H<sub>2</sub>O 85%). Daya serap komposit lebih daripada 82%, hanya didapatkan pada matriks dari kombinasi I (HEA 15%, 14G 5%, H<sub>2</sub>O

80%). Hal ini berarti matriks tersebut baik untuk mengekang sel.

3. Kadar etanol hasil fermentasi dari media A, oleh sel bebas sekitar 6,5%, dan sel terkekang pada matriks dari kombinasi I; 4,9 - 6,9%, II; 5,7 - 6,7%, dan III; 6,4 - 7,1%, tidak menunjukkan perbedaan nyata ( $p < 0,05$ ). Sedangkan kadar etanol hasil fermentasi dari media B, oleh sel terkekang pada matriks dari kombinasi I; 10,0 - 13,4%, II; 10,0 - 12,0%, dan III; 9,2 - 13,4%, cenderung lebih tinggi daripada yang dihasilkan oleh sel bebas (9,6%).





Gambar 4. Kadar etanol hasil fermentasi dari media molase 16% dan glukosa 16%, dengan sel khamir yang dikekang pada matriks dari kombinasi II (19 - 24) dan kombinasi III (33-35)

**Keterangan:**

// media molase 16%, • media glukosa 16%, -- kadar etanol (jumlah pemakaian matriks),  
-- harga rata-rata kadar etanol

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Sumo, U.F., Sumantri, B., dan Subono, A., Prinsip Bioteknologi, Penerbit PT Gramedia, Jakarta (1990) 154 - 164.
2. Zaborsky, O.R., Immobilized enzyme, (CRC Press Cleveland, Ohio 1973), Mosbach, K., Ed., Methode enzymol 44 (1976); TREVAN, M.D., Immobilized enzyme; Introduction and applications in biotechnology, Wiley, New York (1980).
3. Chibata, I., Immobilized Enzymes - Research and Development, Kodansha, Tokyo (1978) 73 - 80.
4. Chang, T.M.S., Artificial cells, Thomas, Springfield, III (1970).
5. Liang, O.B., Bioteknologi untuk biomassa tebu, Kompas (19 Juli 1990).
6. Hardoyo, dan Rosadi, D., Fermentasi secara sinambung dengan penggunaan yeast yang diimmobilisasikan, BERDC BPP Teknologi Sulusuban (1987) 6.
7. Kumakura, M., and Kaetsu, I., Effect of the polymer matrices on the immobilisation of microbial cells by radiation polymerisation, TRCRE, JAERI, Takasaki, Japan (1983) 96.
8. Kumakura, M., Yoshida, M., and Kaetsu, I., Immobilization of *Streptomyces phaeochromogenes* by radiation-induced polymerization of glass forming monomers, Biotechnology and Bioengineering, vol. XXI, TRCRE, JAERI, Takasaki, Japan (1979) 679.
9. Wada, M.M., Kato, J., and Chibata, I., A new immobilization of microbial cells, Eur. J. Appl. Microbial Biotechnol., 8 (1979) 241 - 247.