

TEKNIK IMOBILISASI ADSORPSI DAN ENTRAPMENT FILM NATA DE COCO-BENEDICT UNTUK DETEKSI KADAR GULA DALAM URIN

Meyliana Wulandari

Abstract

Person with Diabetes Mellitus (DM) usually have high level of sugar in his blood. He also has trouble on glucose transportation in his kidneys, so his urine has high glucose concentration. It was synthesized of chemical sensor based on Benedict to measure glucose level. Cellulose from nata de coco is used as supporting material for Benedict immobilization. The characteristics of sensor are determined through sensor leaching, linear range, limit of detection, reproducibility, and sensitivity by reflectance spectrophotometry. The parameter which needs to be optimal at adsorption method is Benedict concentration and the time of dipping. While at entrapment method optimization is ratio of cellulose mass: Benedict volume and Benedict concentration. The optimal result of maximum wavelength of Benedict cellulose sensor with both methods is 541.57 nm. Optimum condition of dipping time is 40 minutes. Ratio of cellulose: with Benedict volume optimum at 1: 3, with optimal concentration of Benedict is 0.2682 M at adsorption method and 0.4470 M at entrapment method. The amounts of leaching at entrapment method is smaller than amounts at adsorption method. Sensor characteristics with adsorption method are better than with entrapment method. The result of glucose level measurement at urine which uses adsorption method and entrapment sensor has small differences with level of glucose data which uses Nelson-Somogyi standard method. So, adsorption is method of Benedict cellulose sensor which is more accurate for determining glucose level in urine.

A. Pendahuluan

Diabetes Mellitus (“penyakit gula”) adalah suatu penyakit metabolisme yang disebabkan kurangnya insulin atau terhambatnya sekresi insulin. Menurut WHO tahun 2000, jumlah penderita diabetes diseluruh dunia mencapai 120 juta orang, pada tahun 2025 diperkirakan jumlahnya akan meningkat hingga 300 juta orang, peningkatan ini terutama terjadi di benua Asia, Afrika dan Amerika Selatan (Hernawati, 2005). Penderita Diabetes Mellitus mengalami gangguan transport glukosa di ginjal, dimana urin mengandung glukosa dengan konsentrasi tinggi (Koolman dan Rohm, 2001). Oleh

karena itu diperlukan suatu metode mengukur kadar glukosa dalam urin yang bisa digunakan setiap saat dan oleh semua orang. Salah satunya menggunakan immobilisasi reagen ke material pendukung padat.

Immobilisasi Benedict ke dalam material pendukung berupa selulosa nata dilakukan secara adsorpsi dan entrapment. Pada metode adsorpsi akan dilakukan optimasi konsentrasi Benedict dan lama pencelupan selulosa nata ke dalam Benedict sehingga dimungkinkan akan mempengaruhi jumlah Benedict yang teradsorp dalam selulosa nata. Sedangkan pada metode entrapment akan dilakukan

optimasi konsentrasi Benedict dan perbandingan massa selulosa nata dengan volume Benedict sehingga bisa memaksimalkan jumlah Benedict yang berhasil di-entrapment dalam selulosa nata. Sensor yang berada dalam kondisi optimum digunakan untuk membuat kurva kalibrasi glukosa dan selanjutnya dilakukan karakterisasi.

Karakterisasi sensor selulosa nata-Benedict diperoleh berdasarkan pengukuran sinar yang direfleksikan oleh analit yang ditangkap oleh detektor dalam spektrometer reflektan. Berdasarkan karakteristik sensor, dalam penelitian ini akan dipelajari linier range, reproduibilitas, limit deteksi, dan sensitivitas (Miller dan Miller, 1983). Selain dipelajari karakteristik sensor selulosa nata-Benedict, dilakukan juga uji leaching reagen Benedict dari selulosa nata untuk mengetahui jumlah Benedict yang lepas menuju air pada metode adsorpsi dan entrapment. Sensor yang telah dikarakterisasi digunakan untuk mengukur sampel.

Sampel urin digunakan karena mengandung lebih sedikit interferensi dibandingkan dengan darah sehingga tidak dibutuhkan metode pemisahan untuk bisa mendeteksi semua analit. Selain itu, urin lebih mudah bereaksi dengan sensor selulosa nata-Benedict karena

viskositasnya rendah. Disamping mempunyai kelebihan, urin juga mempunyai kelemahan antara lain urin cepat mengalami kerusakan bila tidak segera dilakukan analisa dan kadar gula dalam urin tergantung pada kondisi tubuh seseorang (Thomas, 1984). Oleh karena itu untuk membuktikan keakuratan hasil pengukuran kadar glukosa dalam sampel urin, maka dilakukan uji korelasi kadar gula dalam urin dengan metode standar Nelson-Somogyi.

B. Metode Penelitian

1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain penyaring buchner, pompa vakum, beaker gelas, gelas ukur, pipet mohr, pipet volum, pipet tetes, labu ukur, labu erlenmeyer, gelas arloji, pengaduk, blender, nampan plastik, hot plate, stirer magnetik, mikrometer, stop watch, neraca analitik, oven, pH meter, spektrometer USB 2000 "Ocean Optic", spektrometer Genesys 5, dan kuvet. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air kelapa, gula pasir, amonium sulfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ padat, bakteri *Acetobacter xylinum*, asam cuka pasaran, natrium hidroksida (NaOH) padat, kertas saring nilon, natrium karbonat (Na_2CO_3) padat, trinitrium sitrat dihidrat $(\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ padat, tembaga (II)

sulfat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) padat, glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) anhidrat, aquades.

2. Prosedur Penelitian

• Membuat dan Memurnikan Nata de Coco

Media fermentasi dalam pembuatan nata de coco terdiri dari air kelapa sebanyak 1 L dididihkan lalu ditambahkan 10 g gula pasir dan 5 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Setelah dingin, pH media diatur sehingga mencapai 4 dengan menambahkan asam cuka pasaran kemudian ditambahkan *Acetobacter xylinum* dan difermentasi pada suhu ruang selama 10 hari. Bentuk nata de coco hasil fermentasi berupa gel selanjutnya dicuci dengan air mengalir selama 24 jam. Selanjutnya dicuci dengan NaOH 2% selama 1 jam pada suhu 80-90°C. Untuk menetralkan pH, nata de coco direndam dalam asam cuka 2% selama 1 jam dan terakhir dicuci kembali dengan air.

• Imobilisasi Benedict Secara Adsorpsi dan Entrpment pada Selulosa Nata

Pada metode adsorpsi, nata de coco yang telah dimurnikan selanjutnya diberi tekanan sehingga mempunyai ketebalan yang sama dan dipotong-potong dengan ukuran 1x2 cm. Membran selulosa nata kemudian diadsorpsi ke dalam larutan Benedict dengan variasi konsentrasi Benedict. Konsentrasi

Benedict yang digunakan antara lain: 0,4470; 0,0894; 0,1788; 0,2682; 0,3576 M. Selulosa nata-Benedict selanjutnya dikeringkan pada suhu 50°C sampai molekul airnya hilang. Kondisi optimum konsentrasi Benedict digunakan untuk mencari kondisi optimum parameter yang kedua. Parameter yang kedua menggunakan lama pencelupan 10, 20, 30, 40, 50 menit. Kondisi optimum kedua parameter digunakan untuk mengukur analit.

Pada metode entrapment, nata de coco murni yang masih basah didegradasi secara mekanik dengan blender selama 3 jam. Selulosa nata hasil pemblenderan sebanyak 10 g direndam dan diaduk dengan larutan Benedict selama 24 jam (mendekati homogen). Kemudian selulosa nata-Benedict dicetak dengan set alat seperti gambar 1 dan dikeringkan pada suhu 50°C. Parameter yang diamati adalah konsentrasi Benedict dan perbandingan massa nata dengan volume Benedict. Konsentrasi Benedict yang digunakan antara lain: 0,4470; 0,0894; 0,1788; 0,2682; 0,3576 M. Konsentrasi Benedict dioptimasi sedangkan parameter lainnya dijaga konstan. Hasil optimum konsentrasi Benedict digunakan untuk menentukan kondisi optimum parameter berikutnya yaitu perbandingan massa selulosa nata dengan Benedict (1: 1, 1: 2, 1: 3, 1: 4, 1:

5).

Gambar 1. Sistem pencetakan membran.

• Uji Leaching Sensor Selulosa Nata-Benedict

Langkah awal adalah membuat kurva kalibrasi Benedict dari larutan induk dan dilakukan pengenceran sehingga absorbansi yang terukur dengan spektroskopi uv-visibel mendekati nol. Masing-masing membran dari kedua metode (adsorpsi dan entrapment) yang berukuran 1x2 cm direndam dalam 10 mL air selama 5 detik. Kemudian sisa air rendaman diukur pada panjang gelombang maksimum Benedict, sisa air rendaman berfungsi sebagai jumlah Benedict yang leaching.

$$\% \text{leaching} = \frac{\text{Benedict yang leaching (g)}}{\text{Benedict yang berhasil terimobilisasi (g)}} \times 100\%$$

• Pencelupan Sensor ke dalam Larutan Glukosa Standard

Membran selulosa nata-Benedict dalam kondisi optimum metode adsorpsi dan entrapment dicelupkan selama 5 detik ke dalam larutan glukosa standard kemudian dipanaskan pada suhu 90°C selama 2 menit.

• Penentuan Panjang Gelombang Maksimum (λ_{maks})

Penentuan panjang gelombang maksimum sensor ditentukan dengan mengukur intensitas selulosa nata-Benedict. Untuk penentuan panjang gelombang maksimum, sensor yang dibuat dari metode adsorpsi diperoleh dari sensor dengan salah satu konsentrasi Benedict dan lama pencelupan. Sedangkan λ_{maks} sensor yang dibuat dari metode entrapment diperoleh dengan salah satu konsentrasi Benedict dan perbandingan massa nata: volume Benedict. Panjang gelombang dengan intensitas tertinggi dipilih sebagai panjang gelombang maksimum sensor. Penentuan panjang gelombang maksimum untuk pembuatan kurva kalibrasi sensor-glukosa sama dengan penentuan panjang gelombang maksimum sensor diatas. Intensitas selulosa nata-Benedict yang telah direaksikan dengan salah satu konsentrasi glukosa diukur menggunakan spektrometer 2000. Proses pengukurannya dilakukan pada panjang gelombang 400-800 nm.

• Penentuan Konsentrasi Benedict Optimum Metode Adsorpsi dan Entrapment

Konsentrasi Benedict optimum akan ditentukan berdasarkan data *scanning* intensitas sensor selulosa nata-Benedict dengan variasi konsentrasi Benedict.

Konsentrasi Benedict yang digunakan yaitu 0,4470; 0,0894; 0,1788; 0,2682 dan 0,3576 M. Kondisi optimum ditandai dengan intensitas tertinggi dari sensor.

- **Penentuan Lama Pencelupan Optimum Metode Adsorpsi**

Penentuan Lama pencelupan optimum ditentukan menggunakan konsentrasi Benedict yang telah optimum dan variasi lama pencelupan. Variasi lama pencelupan kedalam selulosa nata yang digunakan antara lain 10, 20, 30, 40, dan 50 menit. Kondisi optimum ditandai dengan intensitas tertinggi dari sensor.

- **Penentuan Perbandingan Massa Selulosa Nata: Volume Benedict Optimum Metode Entrapment**

Penentuan perbandingan massa selulosa nata: volume Benedict optimum ditentukan menggunakan variasi konsentrasi Benedict yang telah optimum dan variasi perbandingan massa selulosa nata: volume Benedict. Variasi perbandingan massa selulosa nata: volume Benedict yang digunakan antara lain 1: 1, 1: 2, 1: 3, 1: 4, 1: 5. Kondisi optimum ditandai dengan intensitas tertinggi dari sensor.

- **Pembuatan Kurva Kalibrasi**

Pengukuran larutan standard glukosa terhadap sensor selulosa nata-Benedict dilakukan pada kondisi

konsentrasi Benedict dan lama pencelupan optimum pada metode adsorpsi serta konsentrasi Benedict dan perbandingan volume nata: volume Benedict optimum pada metode entrapment. Pengukuran ini dilakukan pada panjang gelombang maksimum sensor yang telah direaksikan dengan glukosa. Variasi larutan glukosa standard yang digunakan mulai 0; 1000; 2000; 3000; 4000; dan 5000 ppm. Kurva kalibrasi dibuat dengan mengalurkan konsentrasi larutan glukosa standard terhadap sensor selulosa nata-Benedict sebagai sumbu x terhadap intensitas produk yang dihasilkan sebagai sumbu y.

- **Karakteristik Sensor Selulosa Nata-Benedict Secara Spektroskopi**

Daerah linier diperoleh dari kurva kalibrasi yaitu persamaan regresi, koefisien regresi menunjukkan banyaknya perubahan intensitas yang dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi analit dan sisanya merupakan faktor pengganggu.

Limit Deteksi diperoleh dari standard deviasi kurva kalibrasi (S_B) dan dimasukkan ke persamaan $Y_{LOD} = y_B - 3S_B$ lalu memasukkannya ke dalam persamaan $x = \frac{c - Y_{LOD}}{m}$ (Calcutt dan

Boddy, 1983). Hasil perhitungan tersebut menentukan berapa limit deteksi pada

daerah konsentrasi glukosa standard 0; 1000; 2000; 3000; 4000; dan 5000 ppm.

Sensitivitas sensor selulosa nata-Benedict diperoleh dari slope grafik (m) intensitas terhadap variasi konsentrasi glukosa. Semakin besar harga gradien grafik maka semakin baik sensitivitas sensor selulosa nata-Benedict. Reprodusibilitas membran selulosa nata-Benedict yang digunakan sebagai sensor optik untuk mendeteksi glukosa diperoleh dari rumus koefisien variasi (Kv).

• Pengukuran Sampel

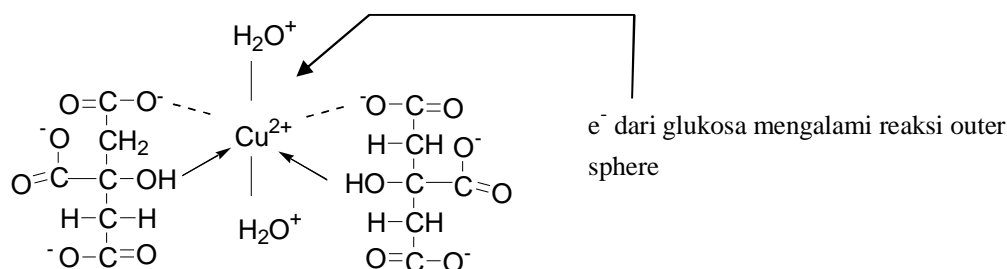
Sampel urin diambil dari penderita Diabetes Mellitus. Sampel diukur kadar glukosanya dengan menggunakan sensor selulosa nata-Benedict yang telah optimum menggunakan dua metode (adsorpsi dan entrapment). Hasil pengukuran sampel urin dengan sensor dibandingkan dengan metode yang lebih akurat yaitu metode Nelson-Somogyi berdasarkan uji t. Dalam uji ini digunakan H_0 (hipotesa 0) = tidak ada beda yang signifikan dan H_1 (hipotesa 1) = ada perbedaan yang signifikan, agar dihasilkan sensor yang baik maka t hitung $< t$ tabel, artinya menerima H_0 dan menolak H_1 .

C. Hasil Dan Pembahasan

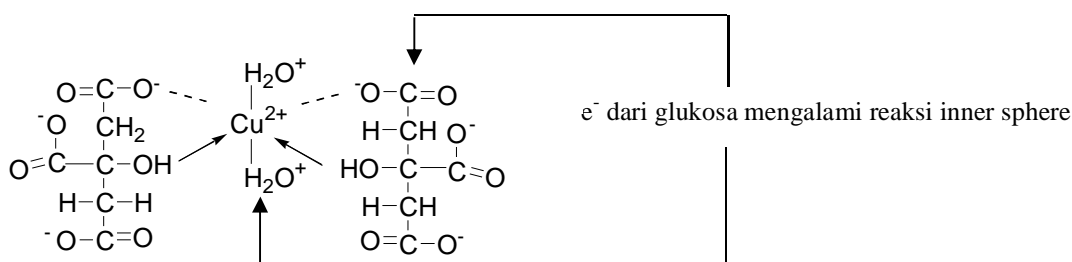
• Sensor Selulosa Nata-Benedict

Imobilisasi adsorpsi dan entrapment reagen Benedict ke selulosa nata menghasilkan ikatan fisik yang kemungkinan berupa ikatan yang disebabkan oleh gaya van der Waals antara selulosa dengan Benedict. Ikatan yang disebabkan oleh gaya van der Waals merupakan ikatan yang lebih lemah dari ikatan kovalen dan ikatan ionik yang tidak mempunyai arah yang teratur, ikatan ini menyebabkan molekul Benedict dengan selulosa dapat mengelompok (Syarifuddin, 1994).

Kompleks Cu-sitrat yang direaksikan dengan glukosa mengalami reaksi transfer elektron. Reaksi ini terbagi menjadi dua: *inner sphere* dan *outer sphere*. Jika yang terjadi adalah reaksi *inner sphere* maka elektron membutuhkan ligan jembatan untuk proses perpindahannya, sedangkan jika Benedict bereaksi dengan glukosa melalui reaksi *outer sphere* maka elektron tidak membutuhkan ligan yang mampu bertindak sebagai jembatan (Handerson, 1993). Mekanisme yang terjadi antara Benedict dengan glukosa:



Gambar 2. Mekanisme reaksi *outer sphere*.

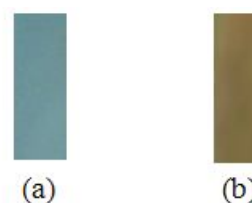


Gambar 3. Mekanisme reaksi *inner sphere*.

Berdasarkan gambar 2 dan 3, Ion Cu^{2+} bertindak sebagai logam pusat, sitrat ($\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-}$ atau $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}(\text{COO})_3^{3-}$) sebagai ligan sedangkan H_2O sebagai pelarut Benedict. Mekanisme yang terjadi adalah sebagai berikut: elektron dari glukosa memasuki logam pusat melalui ligan jembatan berupa sitrat atau ligan jembatan lain berupa H_2O yang merupakan mekanisme *inner sphere* (Gambar 3). Jika mekanisme yang terjadi berupa *outer sphere* (Gambar 2) maka kemungkinan terjadi tunnelling (loncatan) elektron dari glukosa menuju logam pusat sehingga Cu^{2+} memperoleh 1 elektron dari glukosa berubah menjadi Cu^+ dalam bentuk Cu_2O yang berwarna kecoklatan. Cu^{2+} mengalami reduksi menjadi Cu^+ karena diberi 1 elektron dari glukosa, sedangkan

glukosa teroksidasi menjadi asam glukonat (Handerson, 1993).

Jadi dalam reaksi reduksi oksidasi senyawa kompleks, antara reduktor dengan oksidator (antara nukleofil dengan logam pusat) tidak harus bertemu secara langsung.



Gambar 4. Karakter fisik selulosa nata-Benedict sebelum (a) dan sesudah bereaksi dengan glukosa (b).

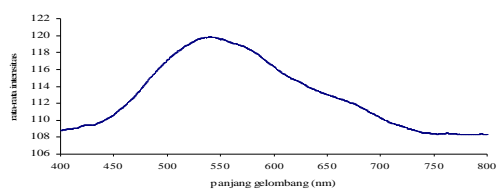
Jumlah Benedict yang lepas pada metode entrapment lebih kecil daripada adsorpsi karena Benedict dijebak dalam selulosa sedangkan pada metode adsorpsi, Benedict hanya diserap oleh pori selulosa nata. Untuk meminimalkan proses

leaching sensor selulosa nata-Benedict yang dicelupkan ke dalam analit maka proses pencelupannya hanya diperlukan waktu beberapa detik.

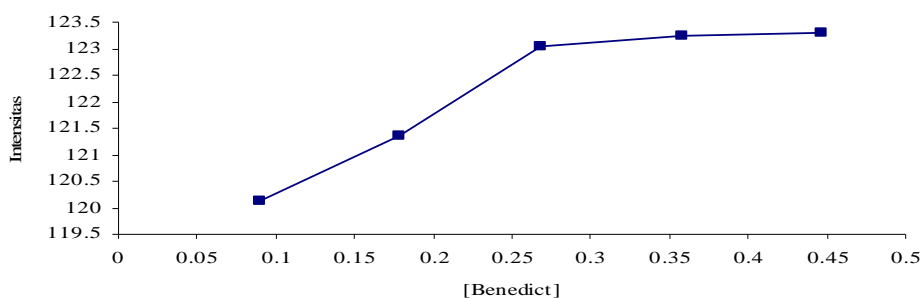
Tabel 1. Persentase leaching selulosa nata-Benedict

Metode Imobilisasi	% Leaching
Adsorpsi	14,7%
Entrapment	0,40%

Panjang gelombang Maksimum Selulosa Nata-Benedict



Metode Adsorpsi dan Entrapment



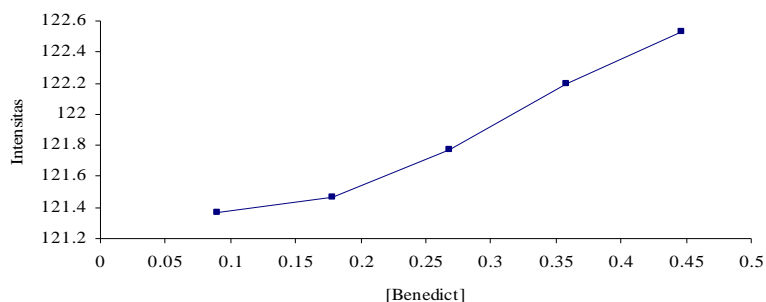
Gambar 6. Hubungan konsentrasi Benedict dengan intensitas pada metode adsorpsi.

Semakin besar konsentrasi Benedict yang teradsorpsi ke dalam selulosa nata maka intensitas sinar yang direfleksikan semakin besar. Gambar 6 menunjukkan 0,0894 M memiliki intensitas paling rendah karena masih banyak ruang kosong dalam pori selulosa nata yang belum terisi oleh Benedict. Dari konsentrasi 0,0894 M sampai 0,2682 M intensitasnya meningkat karena proses adsorpsi Benedict oleh

Gambar 5. Panjang gelombang maksimum selulosa nata-Benedict secara adsorpsi dan entrapment.

Berdasarkan gambar 5 diperoleh panjang gelombang maksimum selulosa nata-Benedict dengan metode adsorpsi dan entrapment sebesar 541,57 nm, artinya pada 541,57 terjadi refleksi maksimum selulosa nata-Benedict.

selulosa nata masih terjadi. Pada konsentrasi 0,2682 M, 0,3576 M dan 0,4470 M intensitasnya naik secara tidak signifikan sehingga dipilih 0,2682 M sebagai konsentrasi Benedict optimum metode adsorpsi. Sedangkan pada pengukuran optimasi lama pencelupan selulosa nata ke Benedict digunakan 0,4470 M sehingga diharapkan akan dihasilkan intensitas yang lebih besar.



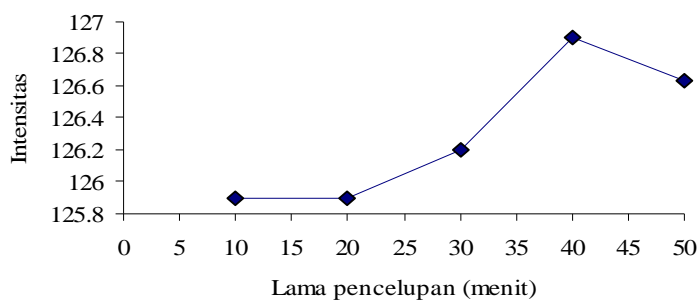
Gambar 7. Hubungan konsentrasi Benedict dan intensitas pada metode entrapment.

Optimasi konsentrasi Benedict metode entrapment (Gambar 7) menghasilkan kondisi optimum 0,4470 M. Kenaikan konsentrasi Benedict dari 0,0894 M sampai 0,3557 M menyebabkan intensitas sensor naik. Dari konsentrasi 0,3557 ke 0,4470 M intensitasnya naik artinya terjadi proses penjebakan Benedict ke pori-pori selulosa nata.

- **Lama Pencelupan Optimum Metode Adsorpsi**

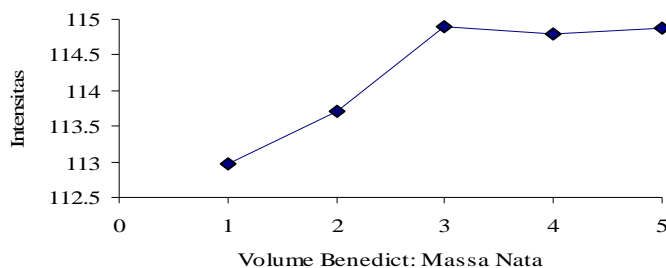
Berdasarkan gambar 8, lama pencelupan 10 dan 20 menit menghasilkan intensitas yang hampir sama dan intensitas sensor sedikit naik pada lama pencelupan 30 menit. Naiknya intensitas dari lama pencelupan 10, 20 ke 30 menit

dikarenakan semakin lama selulosa nata dicelupkan ke dalam Benedict maka semakin banyak Benedict yang menempel ke dalam pori-pori selulosa nata. Pada lama pencelupan 40 menit intensitas sensor selulosa nata-Benedict meningkat dan intensitas sensor turun pada lama pencelupan 50 menit. Lama pencelupan 40 menit dipilih sebagai lama pencelupan optimum karena Benedict mengisi seluruh pori-pori selulosa nata. Lama pencelupan selulosa nata ke dalam Benedict yang lebih dari 40 menit menyebabkan terlepasnya Benedict dari selulosa nata sehingga intensitasnya turun.



Gambar 8. Hubungan lama pencelupan dan intensitas.

- **Perbandingan Massa Selulosa Nata dengan Volume Benedict Optimum**



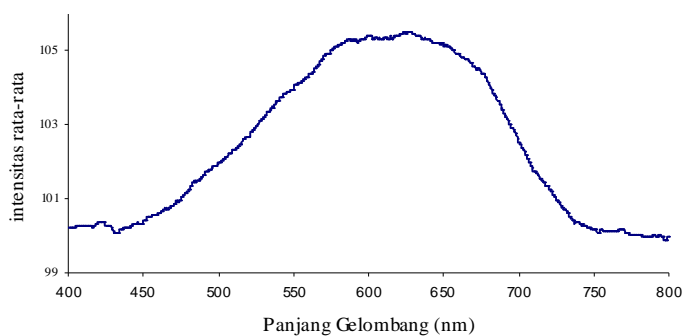
Gambar 9. Hubungan perbandingan volume Benedict: massa nata dan intensitas.

Gambar 9 menunjukkan bahwa intensitas sensor meningkat dari perbandingan 1: 1 ke 1: 2 karena masih banyak ruang kosong dalam selulosa nata yang belum terisi oleh Benedict. Bila dilakukan penambahan Benedict masih memungkinkan Benedict untuk terjebak dalam selulosa. Perbandingan 1: 3 memiliki intensitas yang paling besar dan relatif konstan pada volume Benedict yang lebih besar. Perbandingan yang lebih besar dari 1: 3 intensitas yang dihasilkan

yang relatif konstan karena selulosa sudah jenuh oleh Benedict.

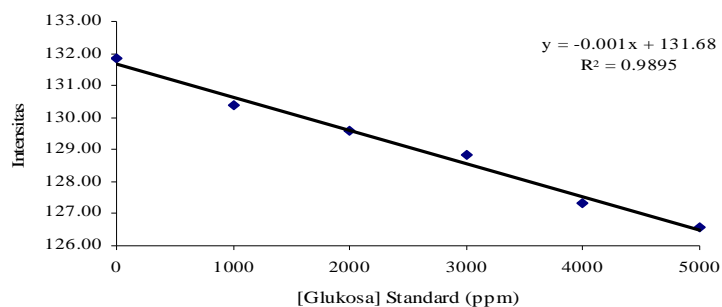
- **Panjang Gelombang Maksimum Selulosa Nata-Benedict yang Direaksikan dengan Glukosa**

Berdasarkan gambar 10 panjang gelombang maksimum sensor-glukosa yang diperoleh melalui metode adsorpsi dan entrapment sama yaitu 625,64 nm. Jadi pada panjang gelombang 625,64 nm saat terjadi refleksi maksimum sensor-glukosa.

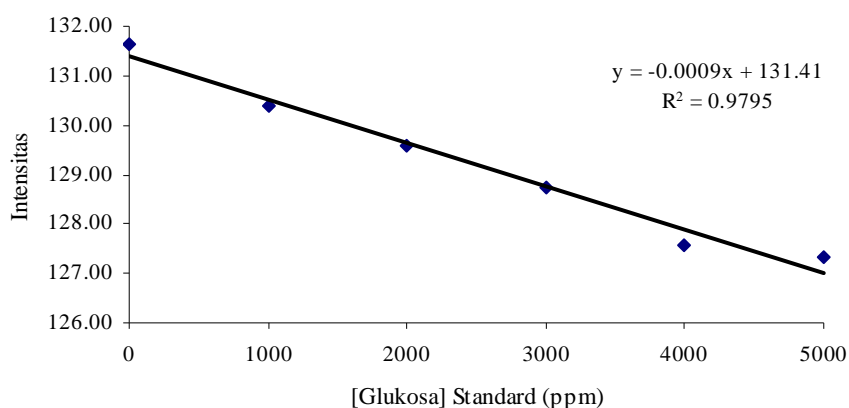


Gambar 10. Panjang gelombang maksimum sensor-glukosa secara adsorpsi dan entrapment.

- **Karakteristik Sensor Selulosa Nata-Benedict Terhadap Glukosa**

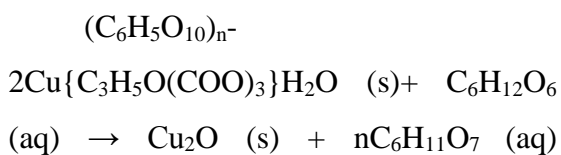


Gambar 11. Kurva kalibrasi metode adsorpsi.



Gambar 12. Kurva kalibrasi metode entrapment.

Intensitas yang terukur pada kurva kalibrasi merupakan intensitas produk Cu_2O . Sesuai reaksi:



Gambar 11 dan 12 menunjukkan bahwa intensitas selulosa nata-Benedict pada kondisi optimum kedua metode diukur pada panjang gelombang 625,64 nm menurun sesuai dengan kenaikan konsentrasi glukosa. Hubungan linier ini menunjukkan bahwa konsentrasi berbanding terbalik dengan intensitas

sinyal produk yang direfleksikan. Semakin tinggi konsentrasi glukosa maka semakin rendah intensitas yang direfleksikan karena produk Cu_2O yang dihasilkan makin besar. Menurunnya intensitas disebabkan sensor yang merefleksikan sinar dihalangi oleh terbentuknya endapan Cu_2O .

Koefisien regresi berdasarkan gambar 11 dan 12 sebesar 0,9895 untuk metode adsorpsi dan metode entrapment 0,9795, artinya $\pm 99\%$ dan $\pm 98\%$ perubahan intensitas dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi glukosa standard,

sedangkan $\pm 1\%$ dan $\pm 2\%$ dipengaruhi faktor lain. Koefisien regresi metode entrapment lebih kecil dibandingkan metode adsorpsi disebabkan kurang homogenya sensor dengan metode entrapment.

Limit deteksi suatu metode pengukuran adalah konsentrasi terkecil dari analit yang dapat diukur oleh alat dengan baik. Semakin kecil konsentrasi yang bisa dideteksi maka semakin baik karakteristik sensor tersebut. Berdasarkan kurva kalibrasi metode adsorpsi dan perhitungan limit deteksi diperoleh limit deteksi metode adsorpsi pada daerah konsentrasi 0-5000 ppm adalah 780 ppm dan berdasarkan kurva kalibrasi metode entrapment, limit deteksinya 911,11 ppm. Jadi konsentrasi terkecil yang bisa diukur oleh alat adalah 780 ppm dan 911,11 ppm.

Limit deteksi metode entrapment lebih besar dari limit deteksi metode adsorpsi, artinya kepresisian pengukuran menggunakan metode adsorpsi lebih besar daripada entrapment. Hal tersebut dikarenakan standard deviasi metode entrapment lebih besar. Standard deviasi (simpangan baku) adalah ukuran statistik yang menggambarkan keadaan keseragaman data hasil pengukuran. Semakin besar simpangan baku yang dimiliki sekumpulan data hasil

pengukuran, berarti data tersebut semakin tidak seragam.

Sensitivitas merupakan rasio perubahan sinyal tiap unit perubahan konsentrasi analit. Sensitivitas sensor selulosa nata-Benedict ini diperoleh berdasarkan slope dari kurva kalibrasi dengan range 0-5000 ppm pada gambar 11 dan 12. Sensitivitas metode adsorpsi sebesar 0,001 dan 0,0009 pada metode entrapment, artinya tiap satu satuan perubahan konsentrasi akan menghasilkan perubahan intensitas sebesar 0,001 dan 0,0009. Semakin kecil harga sensitivitas berarti semakin sensitif metode itu. Pengukuran dengan metode entrapment lebih sensitif dibandingkan metode adsorpsi karena efektivitas reagen Benedict untuk bereaksi dengan analit lebih besar sehingga setiap perubahan konsentrasi dari zat yang dianalisis dapat dideteksi.

Reprodusibilitas merupakan suatu metode pengulangan yang dilakukan agar dihasilkan limit antar pengukuran sekecil mungkin atau data yang dihasilkan harus presisi. Diharapkan hasil pengukuran memberikan nilai 95% setiap satu kali pengulangan atau lebih yang berbeda. Reprodusibilitas yang dinyatakan dengan K_V (Koefisien Variasi) menunjukkan tingkat kesalahan pengukuran akibat pengulangan. K_V hasil dari metode

adsorpsi adalah 0,2013% dan metode entrapment 0,2295%. Hal tersebut berarti dalam 100x pengukuran dilakukan kesalahan 0,2013 kali dan 0,2295 kali. Reprodusibilitas metode entrapment lebih besar dari metode adsorpsi karena standard deviasi metode entrapment lebih besar. Jadi tingkat kesalahan pengukuran akibat pengulangan dengan metode entrapment lebih besar menyebabkan tingkat kepresisiannya kecil.

• Pengukuran Sampel Urin

Sampel urin yang digunakan diambil dari Rumah Sakit, sampel diukur kadar glukosanya menggunakan sensor dalam kondisi optimum metode adsorpsi dan entrapment kemudian dibandingkan dengan kadar glukosa dalam urin penderita diabetes dengan reagen Nelson-Somogyi. Hasil pengukuran kadar glukosa dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Kadar glukosa dalam sampel urin dan standar Nelson-Somogyi

Adsorpsi (ppm)	Entrapment (ppm)	Reagen Nelson (ppm)
4964,29	4881,07	5060,36
4892,86	4484,29	4967,50
4857,14	4444,29	4952,14
4750,00	4325,36	4921,07
4571,43	4087,14	4364,64

Berdasarkan tabel 2 dan hasil perhitungan dengan uji t sensor selulosa nata-Benedict metode adsorpsi dan entrapment yang dibandingkan dengan

metode Nelson-Somogyi, diperoleh hasil t hitung < t tabel. Hal itu berarti H_0 diterima, yang menunjukkan bahwa pengukuran menggunakan sensor selulosa nata-Benedict bersesuaian (tidak ada perbedaan yang signifikan) dengan hasil pengukuran menggunakan metode Nelson-Somogyi.

D. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah berhasil disintesis sensor kimia berbasis reagen Benedict untuk mengukur kadar glukosa dalam urin. Selulosa digunakan sebagai material pendukung untuk imobilisasi Benedict dengan metode imobilisasi adsorpsi dan entrapment. Karakteristik sensor ditentukan melalui spektrofotometri reflektan antara lain uji leaching, linier range, limit deteksi, reprodusibilitas dan sensitivitas. Jumlah Benedict yang lepas (leaching) dengan lama pencelupan 5 detik pada metode entrapment (0,40%) lebih kecil daripada adsorpsi (14,7%). Kondisi optimum metode adsorpsi: konsentrasi Benedict optimum 0,2682 M dan lama pencelupan optimum 40 menit pada panjang gelombang maksimum 541,57 nm. Kondisi optimum metode entrapment: konsentrasi Benedict optimum 0,447 M dan perbandingan massa selulosa nata dengan volume Benedict optimum 1: 3.

Hasil karakterisasi sensor selulosa nata-Benedict terhadap glukosa: koefisien regresi sebesar 0,9895, limit deteksi sebesar 780 ppm, sensitivitas sebesar 0,001, reproduibilitas sebesar 0,2013% pada metode adsorpsi. Pada metode entrapment koefisien regresinya 0,9795, limit deteksi sebesar 911,11 ppm, sensitivitas sebesar 0,0009, reproduibilitas sebesar 0,2295%. Hasil pengukuran kadar gula sampel urin menggunakan sensor metode adsorpsi dan entrapment bersesuaian dengan data kadar gula menggunakan reagen Nelson.

E. Referensi

- Caulcutt, R. dan R. Boddy. 1995. *Statistics for Analytical Chemist*. London: Chapman and Hall.
- Handerson, A. Richard. 1993. *The Mechanism of Reactions Transition Metal Sites*. New York: Oxford University Press.
- Koch, Bernd. 2004. The Role of Urine Glucose Testing in the Management of Diabetes Mellitus. *Canadian Journal of Diabetes*. 28 (1): 238-245.
- Koolman, J. & Rohm, K. H. 2001. *Atlas Berwarna dan Teks Biokimia*. Terjemahan Dr. Rer. physol dan dr. Septelia Inawati Wanandi. Jakarta: Penerbit Hipokrates.
- Miller, J. C. dan J. N. Miller. 1993. *Statistics for Analytical Chemistry*. England: Ellis Horward, PTR, Prentice Hall.
- Syarifuddin, N. 1994. *Ikatan Kimia*. Jogjakarta: Gadjah Mada University Press.
- Thomas, L. 1984. *Labor und Diagnose: Medizinische Verlagsgesellchaff Marburg/Lahn*.