

Deteksi Reaksi Kimia Menggunakan Film Poly(vinylidene fluoride)

Galih Restu Fardian Suwandi^{1,a)}, Siti Nurul Khotimah^{1,b)} dan Suparno Satira^{2,c)}

¹Kelompok Keahlian Fisika Nuklir dan Biofisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

²Kelompok Keilmuan Fisika Teoretik Energi Tinggi dan Instrumentasi,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

^{a)} galih@fi.itb.ac.id (corresponding author)

^{b)} nurul@fi.itb.ac.id

^{c)} suparno@fi.itb.ac.id

Abstrak

Poly(vinylidene fluoride) (PVDF) merupakan polimer yang memiliki sifat piezoelektrik dan pyroelektrik properties, namun bahan dapat pula memperlihatkan perilaku kimiawi-elektrik yang disebut sifat chemico-electric. Perilaku ini dapat dengan mudah diamati dengan memeriksa struktur molekul PVDF yang dinamakan fase- β . Selama proses, transfer elektron muncul dalam bentuk perubahan rapat muatan. Fenomena ini diikuti dengan perubahan polarisasi dipol listrik pada PVDF dan dapat dideteksi sebagai arus listrik. Konsentrasi dari zat kimia yang bereaksi dapat dilihat dari besarnya arus listrik yang dihasilkan antara kedua elektroda. Pengukuran menggunakan I-V Meter menunjukkan kondisi reaksi tiap waktu. reaksi yang diamati pada penelitian ini adalah reaksi kimia antara enzim glucose-oxydase (GOx) dengan gula pada berbagai konsentrasi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara arus yang terukur dengan laju reaksi yang terjadi.

Kata-kata kunci: Enzim GOx, Laju reaksi, Larutan Gula, PVDF

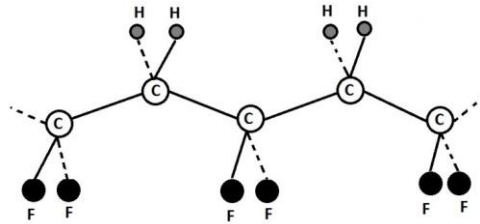
PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang pesat ikut memacu berkembangnya dunia industri. Dalam dua dekade terakhir ini, biosensor dipandang sebagai salah satu pemicu utama terjadinya revolusi dalam industri medis. Penelitian dan pengembangan biosensor salah satunya terfokus pada bagian *transducer*. Salah satu material yang memiliki kemampuan sebagai *transducer* biosensor adalah *poly(vinylidene fluoride)* yang biasa disingkat menjadi PVDF. PVDF merupakan nama yang diberikan pada polimer *1,1 difluoroethylene* dengan monomernya $\text{CH}_2=\text{CF}_2$. Atom *fluoride* memiliki ukuran yang sangat kecil, yaitu 1.35 \AA , sedangkan ukuran atom hidrogen adalah 1.2 \AA . Keduanya memiliki ikatan polar dengan karbon dan memiliki momen dipol sebesar $\mu = 6.4 \times 10^{-30} \text{ C. m}$ [1].

PVDF dihasilkan melalui polimerisasi radikal bebas *1,2-difluoroethylene* monomer yang disintesis dari *acetylene* atau *vinylidene chloride* melalui *1-chloro-1,1-difluoroethane*. Kondisi proses polimerisasi yang paling penting adalah dalam bentuk suspensi atau emulsi dengan air sebagai medium yang umumnya digunakan dengan campuran peroksi sebagai salah satu katalis baik dalam keadaan suspensi dan emulsi. Temperatur reaksi berkisar antara $10 \text{ }^\circ\text{C}$ sampai $150 \text{ }^\circ\text{C}$ dan tekanan dari 10 atm hingga 300 atm . Pengaruh

temperatur sangat penting dalam proses polimerisasi yaitu pada pembentukan unit “kepala” atau “ekor”. Sebagai contoh, unit monomerik dilihat dari belakang $-CF_2$ sampai $-CF_2$ (kepala-kepala) atau $-CH_2$ sampai $-CH_2$ (ekor-ekor), unit ini pada umumnya terbentuk sekitar 3.5 % hingga 6 % dari rantai polimer yang terbentuk secara utuh [1,3].

Secara umum, dapat dikatakan bahwa sifat piezoelektrik pada PVDF ataupun oligomernya sangat dipengaruhi oleh susunan molekul dan derajat kristalinitasnya. Struktur molekul PVDF memiliki 3 bentuk fase struktur, yaitu bentuk I (fase β), bentuk II (fase α), dan bentuk III (fase γ). Struktur kristal bentuk I (fase β) merupakan bentuk yang paling penting peranannya dalam aplikasi piezoelektrik dan pyroelektrik. Gal’perin dkk menunjukkan bahwa unit sel PVDF fase ini memiliki dua rantai dalam simetri ortorombik. Menurut Hasegawa dkk, fase β ini memiliki unit sel dengan nilai-nilai $a = 8.58 \text{ \AA}$, $b = 4.91 \text{ \AA}$, $c = 2.56 \text{ \AA}$. Struktur fase ini memiliki konformasi TTTT atau dapat dikatakan zig-zag planar [2,4].



Gambar 1. Struktur rantai PVDF fasa β .

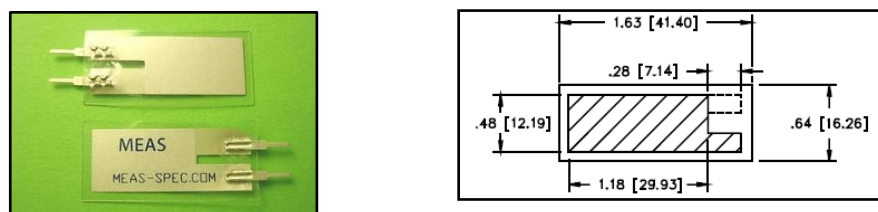
Salah satu pemanfaatan dari film PVDF adalah sebagai elemen sensor. Penelitian pertama dengan memanfaatkan film PVDF dilapisi enzim untuk melihat perilaku enzim sebagai bioreseptor. Pengembangan untuk antibody juga telah dilakukan [5]. Dari keterangan ini terlihat bahwa masih sangat memungkinkan untuk dilakukan pengembangan lebih lanjut dari pemanfaatan film PVDF. Salah satu fokus penelitian ini adalah pengembangan elemen sensor dari film PVDF sebagai elektroda *transducer* dengan dilapisi enzim untuk mendeteksi reaksi kimia. Pada makalah ini, kami melakukan eksperimen untuk mendeteksi reaksi kimia antara enzim *glucose-oxydase* (GOx) dengan larutan gula pada berbagai konsentrasi menggunakan film tipis PVDF.

METODE EKSPERIMEN

Eksperimen pengujian sensor ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan, yaitu mempersiapkan bahan dan peralatan, pembuatan larutan enzim GOx, pembuatan larutan gula, pelapisan enzim GOx pada film PVDF dan pengujian reaksi kimia.

Film PVDF

Salah satu komponen yang penting dalam penelitian ini adalah transduser piezoelektrik. Dalam penelitian ini, yang digunakan adalah film PVDF piezoelektrik. Komponen ini diproduksi oleh *Measurement Specialties, Inc.* Film ini berbentuk persegi panjang dan telah dilapisi oleh elektroda perak. Film PVDF piezoelektrik ini memiliki dimensi panjang sebesar 41.40 mm, lebar 16.26 mm, dan tebal 0.009 mm. Salah satu keuntungan dari penggunaan film PVDF piezoelektrik ini dibandingkan dengan piezoelektrik keramik adalah impedansi akustiknya yang lemah. Parameter ini mendekati nilai pada air, sel manusia, dan material organik lainnya. Sebagai contoh, impedansi akustik ($Z_0 = \rho v$) dari film PVDF piezoelektrik hanya 2.6 kali lebih besar dibanding air, sedangkan piezoelektrik keramik 11 kali lebih besar dibanding air [6].



Gambar 2 Sensor Piezoelektrik PVDF (kiri) dan Skema Film PVDF Piezoelektrik [6].

Persiapan enzim GOx dan larutan gula

Enzim GOx (*β-D-glucose : oxygen 1-oxidoreductase*) dapat berfungsi sebagai katalis reaksi oksidasi *β-D-glucose* menjadi *D-glucono-1,5-lactone* dan hidrogen peroksida dengan menggunakan molekul oksigen sebagai akseptor elektron [7]. Enzim ini digunakan untuk melapisi fim PVDF. Pembuatan larutan enzim GOx dilakukan dengan membuat larutan untuk 10 buah konsentrasi dan dikerjakan dengan langkah kapsul yang berisi enzim 250 unit dipisahkan menjadi dua bagian, sehingga terbentuk dua buah enzim 125 unit. Salah satu bagian kapsul yang berisi enzim 125 unit dilarutkan dalam 50 mL *aquadest*, sehingga diperoleh larutan enzim dengan konsentrasi 125 unit/50 mL, untuk selanjutnya disebut larutan 1. Larutan 1 dipisahkan menjadi 2 bagian sama rata, menjadi dua larutan dengan volume 25 mL konsentrasi 125 unit/50 mL. Salah satu larutan tersebut ditambahkan *aquadest* sebanyak 25 mL, sehingga diperoleh larutan enzim dengan konsentrasi 125 unit/100 mL, selanjutnya disebut larutan 2. Langkah seperti di atas diulang sebanyak 5 kali, sehingga pada akhirnya diperoleh 5 larutan dengan konsentrasi enzim berbeda yang masing-masingnya memiliki volume 25 mL.

Parameter yang akan diukur pada eksperimen ini adalah konsentrasi gula. Oleh karena itu, dibutuhkan larutan gula dengan berbagai konsentrasi. Gula tepung sebanyak 100 gram dilarutkan ke dalam *aquadest* sebanyak 50 mL. Larutan gula ini memiliki konsentrasi gula 100 g/50 mL dan dinamakan larutan 1. Larutan a dipisahkan menjadi 2 bagian dengan volume masing-masing 25 mL dan konsentrasi 100 g/50 mL. Salah satu larutannya ditambahkan *aquadest* sebanyak 25 mL. Larutan ini memiliki konsentrasi gula 100 g/100 mL, dan diberi nama larutan 2. Dilakukan langkah yang sama seperti di atas hingga memperoleh 8 larutan dengan konsentrasi berbeda.

Besaran konsentrasi gula akan dibuat dalam bentuk mol. Gula yang digunakan adalah gula tepung, oleh karena itu rumus kimia yang digunakan adalah sukrosa C₁₂H₂₂O₁₁. Massa molekul relatif dari sukrosa adalah 342 g/mol. Dalam menginformasikan nilai konsentrasi larutan gula, maka data tersebut disajikan dalam satuan molar. Satuan molar adalah banyaknya zat (mol) dalam 1 liter pelarut (*aquadest*).

Tabel 1. Data sampel larutan enzim GOx dan gula.

Nomor sampel	Konsentrasi Enzim Gox	Konsentrasi Larutan Gula	
	Unit/L	g/mL	Molar
1	1250.00 unit/L	100/50	5.85
2	625.00 unit/L	100/100	2.92
3	312.50 unit/L	100/200	1.46
4	156.25 unit/L	100/400	0.73
5	78.13 unit/L	100/800	0.37
6	-	100/1600	0.18
7	-	100/3200	0.09
8	-	100/6400	0.05

Pelapisan Film PVDF dengan Larutan Enzim

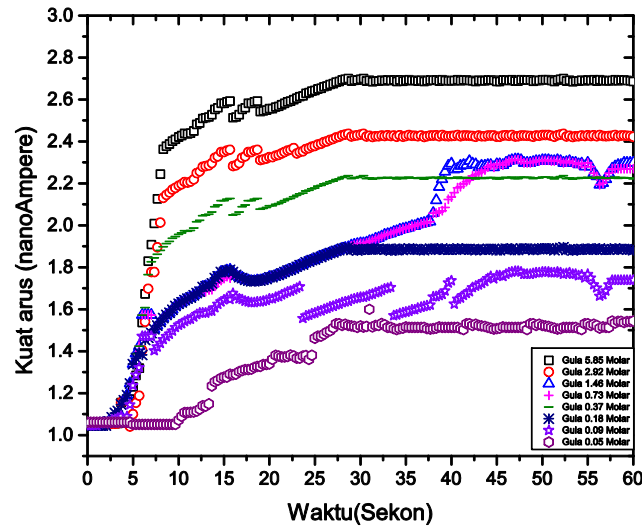
Enzim akan digunakan sebagai bioreseptor pada rancangan biosensor. Oleh karena itu, film PVDF yang ada harus diintegrasikan dengan enzim. Salah satu cara yang sering digunakan adalah pelapisan. Larutan enzim yang telah dibuat akan melapisi film PVDF yang ada. Langkah pertama adalah meletakkan film PVDF pada preparat. Film ini kemudian ditetesi larutan enzim hingga seluruh permukaan film terlapisi oleh enzim. Hasil ini kemudian dibiarkan selama beberapa jam hingga larutan enzim pada film mengering.

Karakterisasi Film PVDF dengan Enzim menggunakan I-V Meter

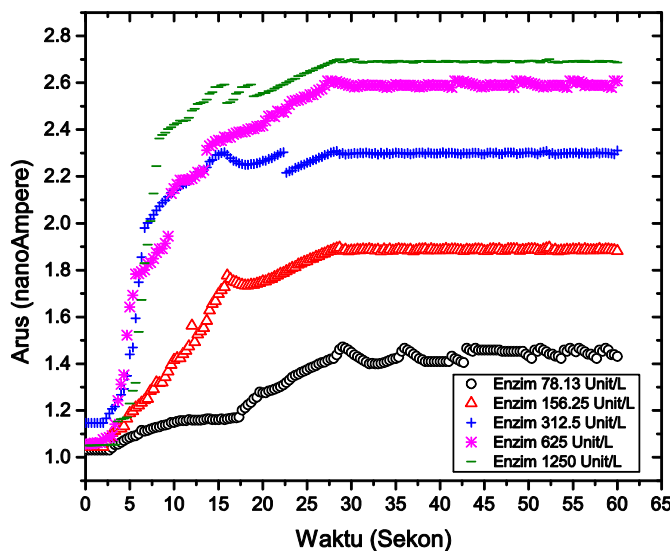
Film PVDF yang telah dilapisi enzim kemudian ditetesi oleh larutan gula yang telah disiapkan sebelumnya. Bersamaan dengan diteteskannya film dengan larutan gula, film ini dikarakterisasi menggunakan I-V Meter. Ujung pengait pada elektroda film disambungkan dengan kabel penghubung pada alat I-V Meter. Kemudian diambil data tegangan terhadap arusnya dari tegangan 0 hingga 9 volt. Data inilah yang akan dianalisis pada langkah berikutnya.

HASIL EKSPERIMEN

Reaksi kimia yang terjadi melibatkan perpindahan elektron. Selain itu, laju reaksi kimia dipengaruhi oleh berbagai hal seperti konsentrasi reaktan dan katalis. Oleh karena itu, perubahan beberapa parameter dalam eksperimen ini akan mempengaruhi reaksi kimia yang terjadi. Parameter pertama yang dibuat adalah katalis, dalam eksperimen ini, katalis yang digunakan berupa enzim. Berkaitan dengan grafik arus-tegangan yang akan diperoleh, akan muncul bentuk yang khas sebagai akibat dari penggunaan enzim sebagai katalis. Parameter kedua adalah konsentrasi zat (gula) yang berubah. Seperti pada teori, konsentrasi reaktan berpengaruh terhadap laju reaksi. Hal ini akan berpengaruh terhadap nilai arus yang terukur. Akan dibandingkan kurva arus-tegangan saat film dengan kadar enzim yang tetap ditetesi larutan gula dengan berbagai konsentrasi.



Gambar 4. Perbandingan kurva arus-waktu saat film dengan kadar enzim 1250 unit/L ditetesi gula dengan berbagai konsentrasi.



Gambar 4. Perbandingan kurva arus-waktu saat film dengan berbagai kadar enzim ditetesi larutan gula dengan konsentrasi 5.85 molar.

Secara keseluruhan, bentuk grafik I-V dari hasil eksperimen ini cenderung menyerupai grafik eksponensial positif. Bentuk grafik dimulai dengan kenaikan secara linier dan pada suatu saat, nilai arus menjadi konstan hingga akhir pengukuran. Bagian grafik ketika arusnya naik disebut bagian arus transien, sedangkan bagian grafik ketika arusnya konstan disebut arus saturasi.

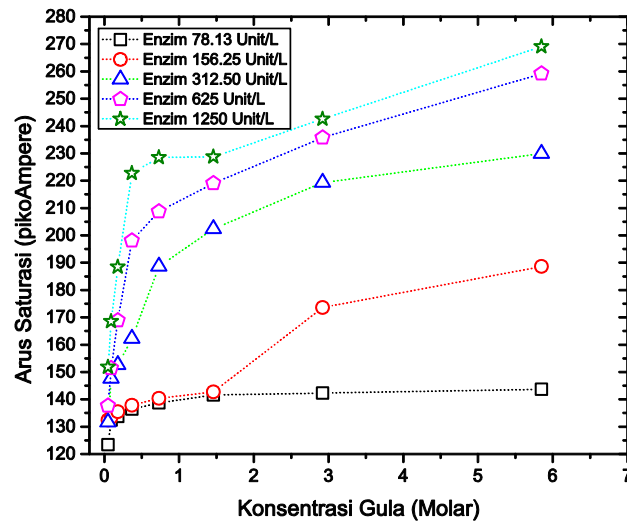
Arus transien ini memperlihatkan dinamika reaksi enzimatik yang terjadi antara enzim GOx dengan gula. Seperti yang telah dijelaskan pada bagian dasar teori, reaksi antara enzim GOx dengan gula akan menghasilkan elektron. Gula bereaksi dengan enzim GOx (dalam kondisi teroksidasi) menghasilkan asam glukonat dan melepaskan dua elektron dan dua proton. Elektron ini kemudian mereduksi GOx, bereaksi dengan oksigen yang ada di sekitar sistem, dan melepaskan kembali elektron dan proton sehingga terbentuk H₂O₂ (hidrogen peroksida). Enzim GOx selanjutnya kembali ke kondisi teroksidasi dan siap bereaksi dengan molekul gula lainnya. Elektron hasil reaksi ini yang menyebabkan adanya perubahan konsentrasi muatan pada bahan dielektrik. Pada kasus ini bahan dielektrik yang digunakan adalah film PVDF piezoelektrik. Jumlah elektron yang dihasilkan bergantung pada jumlah hidrogen peroksida. Jumlah hidrogen peroksida ini bergantung juga pada jumlah konsentrasi gula. Semakin banyak konsentrasi gula, maka elektron yang dihasilkan semakin banyak juga, hal ini terlihat dari besar nilai arus saturasi pada kurva I-V yang terbentuk.

Arus saturasi memperlihatkan bahwa reaksi antara enzim GOx dengan gula telah selesai. Ini berkaitan dengan habisnya gula untuk bereaksi dengan enzim. Hal ini berakibat juga pada selesainya reaksi oksidasi dari hidrogen peroksida dan menyebabkan tidak adanya lagi elektron yang dihasilkan dari reaksi kimia. Maka, konsentrasi muatan pada bahan dielektrik cenderung tetap, dan menjadi arus saturasi yang terlihat di kurva arus-tegangan. Berdasarkan grafik-grafik yang telah diperoleh dan berkaitan dengan bahasan di atas, terdapat beberapa parameter yang diambil untuk dibandingkan dan dianalisis lebih lanjut. Arus saturasi untuk tiap percobaan ditentukan. Nilai yang diambil adalah nilai rata-ratanya. Berikut ini data dari nilai saturasi yang diambil :

Tabel 2. Data arus saturasi

Arus saturasi ($\times 10^{-12}A$)		Konsentrasi Enzim				
		1250.00 unit/L	625.00 unit/L	312.50 unit/L	156.25 unit/L	78.13 unit/L
Konsentrasi Gula (molar)	5.85	(269.1 ± 0.4)	(259.2 ± 0.4)	(229.9 ± 0.4)	(188.6 ± 0.3)	(143.7 ± 0.9)
	2.92	(242.6 ± 0.4)	(235.8 ± 0.4)	(219.3 ± 0.4)	(173.6 ± 0.3)	(142.3 ± 0.8)
	1.46	(228.8 ± 0.4)	(219.1 ± 0.4)	(202.4 ± 0.3)	(142.7 ± 0.3)	(141.6 ± 0.2)
	0.73	(228.5 ± 0.4)	(208.7 ± 0.3)	(188.6 ± 0.3)	(140.4 ± 0.2)	(138.7 ± 0.2)
	0.37	(222.7 ± 0.4)	(198.1 ± 0.3)	(162.2 ± 0.3)	(137.8 ± 0.2)	(136.4 ± 0.2)
	0.18	(188.5 ± 0.3)	(168.9 ± 0.3)	(152.6 ± 0.2)	(135.5 ± 0.2)	(133.7 ± 0.2)
	0.09	(168.5 ± 0.3)	(151.4 ± 0.5)	(147.6 ± 0.2)	(133.4 ± 0.2)	(132.4 ± 0.9)
	0.05	(151.8 ± 0.3)	(137.7 ± 0.2)	(131.6 ± 0.2)	(132.4 ± 0.2)	(123.4 ± 0.9)

Data yang disajikan pada tabel di atas adalah nilai rata-rata arus saturasi dengan standar deviasinya. Untuk membandingkan nilai arus saturasi pada tabel di atas, maka data dapat disajikan dalam bentuk grafik. Grafik ini dibuat dengan konsentrasi gula sebagai sumbu-x dan arus saturasi sebagai sumbu-y. Berikut ini merupakan grafik hubungan antara konsentrasi gula dengan arus saturasi :



Gambar 5. Hubungan antara konsentrasi gula dengan arus saturasi

Berdasarkan informasi di atas terlihat bahwa nilai arus akan meningkat seiring penambahan konsentrasi dari larutan gula, hal ini berlaku secara umum untuk kelima konsentrasi enzim GOx. Bentuk yang terlihat adalah kurva eksponensial. Hal ini cukup menarik untuk dibandingkan dengan kurva kejenuhan suatu reaksi enzim yang menunjukkan relasi antara konsentrasi substrat (*S*) dengan kelajuan (*v*).

Dalam teorinya, laju reaksi enzim akan meningkat seiring dengan konsentrasi substrat yang bereaksi. Untuk kasus ini, substratnya adalah gula. Namun pada suatu nilai konsentrasi substrat tertentu, maka aktivitas enzim ini akan mencapai titik jenuhnya, dan aktivitas enzim cenderung tetap. Gambar 5 bila dianalogikan dengan kurva kejenuhan reaksi enzim, maka parameter yang merepresentasikan laju reaksi adalah nilai arus saturasi. Laju reaksi atau kecepatan reaksi menyatakan banyaknya reaksi yang berlangsung per satuan waktu. Laju reaksi menyatakan konsentrasi zat terlarut dalam reaksi yang dihasilkan tiap detik reaksi. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, arus saturasi ini terjadi akibat adanya transfer elektron pada bahan dielektrik akibat reaksi antara enzim dengan gula. Untuk melihat hubungan antara laju reaksi dengan arus saturasi, perlu diperhatikan definisi dari arus. Arus merupakan banyaknya muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu, dengan satuan $\text{Coulomb}/\text{sekon}$. Di sini terdapat parameter waktu, oleh karena itu arus saturasi ini dapat dikatakan merepresentasikan laju reaksi. Semakin banyak muatan listrik yang masuk ke bahan dielektrik, maka dapat dikatakan laju reaksinya semakin besar pula.[8]

Berdasarkan pernyataan di atas, maka laju reaksi dari reaksi kimia antara enzim dengan gula (*v*) merupakan fungsi dari arus saturasi, dan dapat direpresentasikan dengan bentuk matematis sebagai berikut :

$$v = \tau \cdot I_{sat} \tag{1}$$

Arus saturasi merupakan nilai yang merepresentasikan laju reaksi, dan berkaitan dengan itu nilainya harus dikalikan terlebih dahulu dengan suatu konstanta τ . Untuk memperoleh laju reaksi tiap mol, dapat dilihat dari kemiringan grafik. Caranya adalah dengan mengubah nilai pada sumbu-x yang semula konsentrasi gula menjadi \ln dari konsentrasi gula. Untuk mengetahui kemiringan tiap grafik, dicari gradien dari tiap kurva. Hasilnya adalah sebagai berikut :

Tabel 3 Data kemiringan grafik.

Konsentrasi Enzim	$I = a\eta + b$		σ
	$a (\times 10^{-10})$	$b (\times 10^{-10})$	
1250.00 unit/L	2.25	0.98	0.95
625.00 unit/L	2.45	0.18	0.98
312.50 unit/L	2.09	0.17	0.98
156.25 unit/L	1.08	0.14	0.75
78.13 unit/L	0.37	0.13	0.92

Berdasarkan tabel di atas, terlihat bahwa kemiringan grafik berubah seiring dengan perbedaan konsentrasi enzim. Semakin rendah konsentrasi enzim, maka gradien dari grafiknya semakin kecil. Satu hal yang menjadi anomali adalah data pada konsentrasi enzim 1250 unit/L dengan 625 unit/L.

Kemiringan grafik ini pun dapat dikaitkan dengan laju reaksi, semakin besar gradiennya, maka semakin besar laju reaksinya. Hal ini dapat dilihat dari satuan yang ada, gradien ini memiliki satuan $\text{Coulomb}/\text{sekon} \cdot \text{mol}$. Dari satuan ini dapat dilihat bahwa gradien menyatakan seberapa besar muatan listrik hasil reaksi kimia yang mengalir ke bahan dielektrik tiap satuan waktu untuk tiap mol substratnya. Seharusnya nilai laju reaksi untuk tiap mol substrat memiliki nilai yang sama. Hal ini berkaitan dengan bahan enzim dan gula yang digunakan pada semua eksperimen adalah sama.

Satu hal yang perlu diperhatikan adalah mengenai faktor penurunan aktivitas enzim. Enzim dapat bekerja optimal pada temperatur tertentu. Namun, pada proses dilaksanakannya eksperimen ini, temperatur lingkungan tidak selalu sama, sehingga aktivitas enzim bisa berbeda antar satu pengambilan data dengan pengambilan data lainnya. Selain itu, lamanya penggunaan enzim dapat menurunkan aktivitas enzim, ini dinamakan penuaan enzim. Karena pengambilan data tidak dilaksanakan pada satu waktu yang sangat berdekatan, maka terjadi proses penuaan pada enzim yang digunakan.

Kemurnian dari bahan yang digunakan pun perlu diperhatikan. Enzim yang digunakan telah dilarutkan dalam *aquadest*, oleh karena itu sangat mungkin terjadi pengotoran dari material lain (misal : debu) yang menghambat kinerja enzim. Hal ini secara langsung akan berpengaruh pada reaksi kimia yang terjadi antara enzim dengan gula.

KESIMPULAN

Secara kualitatif, film PVDF dapat digunakan sebagai alternatif material untuk biosensor kadar gula. Hal ini terlihat dari adanya respons yang muncul ketika reaksi enzim dan gula terjadi pada sensor tersebut. Respons ini merupakan proses pengukuran laju reaksi kimia yang terjadi. Laju reaksi (v) dapat ditentukan dari besarnya arus saturasi (I_{sat}) yang terukur pada kurva arus-tegangan. Persamaan yang dapat menggambarkan hubungan antara kedua besaran ini adalah $v = \tau \cdot I_{sat}$, dengan τ merupakan suatu konstanta. Konsentrasi enzim GOx akan memberikan pengaruh terhadap laju reaksi enzimatik. Semakin besar konsentrasi enzim maka laju reaksi semakin besar. Hubungan antar kedua parameter ini adalah linier. Konsentrasi substrat (gula) memberikan pengaruh terhadap laju reaksi. Semakin besar konsentrasi gula, maka laju reaksi semakin besar pula.

REFERENSI

1. A. J. Lovinger, *Poly(vinylidene fluoride)*. Bell Lab. New Jersey (1981)
2. A. J. Lovinger, *In Developments in Crystalline Polymers -I*. Cambridge University Press. London (1982)
3. C.L. Radiman, *Kimia Fisik Polimer*. Penerbit ITB. Bandung (2004)
4. F. Rohman, G. R. F. Suwandi, S. Satira, *Pengaruh Ketebalan Fim dan Medan Listrik Tinggi Terhadap Jumlah Fraksi β pada Polimer Poly(vinylidene fluoride)*. Prosiding Seminar Nasional Material 2012. pp 74-76. (2012)
5. L.C Clark Jr., C. Lyons, *Electrode Systems for Continous Monitoring in Cardiovascular Surgery*. NY Acad. Sci., 102, 29. (1962)
6. Measurement Specialties, Inc, *Piezo Film Sensors Technical Manual*. Measurement Specialties, Inc. Hampton (2000)
7. S. Ferri, K. Kojima, K. Sode, *Review of Glucose Oxidases and Glucose Dehydrogenases : A Bird's Eye View of Glucose Sensing Enzymes*. J Diabetes Sci Technol v.5(5) :1068-1076. (2011)
8. A. Hiskia, *Kinematika Kimia*. CAB. Bandung (2001)