

**SINTESIS KITOSAN DARI CANGKANG KERANG DARAH (*Anadara granosa*)
SEBAGAI BIOSENSOR UNTUK DETEKSI PESTISIDA MENGGUNAKAN
MEMBRAN Au/KITOSAN**

**SYNTHESIS OF CHITOSAN FROM BLOOD SHELL SHELLS (*Anadara granosa*) AS A
BIOSENSOR FOR PESTICIDE DETECTION USING Au/CHITOSAN MEMBRANES**

**Rossella Pharnanda, Predian Yudha Prasetya, Suci Tri Handayani, Aura Amalia Fatehah, Maria
Monica Sianita Basukiwardojo***

*Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Universitas Negeri Surabaya
Jl. Ketintang, Surabaya (60231), Telp. 031-8298761*

*Corresponding author, telp: 081339339027, email: mariamonica@unesa.ac.id

Abstrak. Pestisida merupakan bahan kimia yang dapat membunuh atau mengendalikan hama. Namun, saat ini penggunaan pestisida menjadikan ancaman bagi manusia serta lingkungan. Riset ini dilakukan bertujuan untuk mengembangkan biosensor dengan elektrode membran Au/Kitosan menggunakan kitosan dari limbah cangkang kerang darah yang sensitivitasnya tinggi terhadap pestisida, waktu respon yang cepat, dan stabilitas dalam jangka panjang. Sehingga mencapai target Sustainable Development Goals (SDG's) 3 yaitu health and well-being. Metode yang digunakan yaitu dengan preparasi cangkang kerang darah, sintesis kitosan dari cangkang kerang darah, pembuatan elektrode membran Au/Kitosan, karakterisasi biosensor deteksi pestisida. Hasil pengujian FTIR kitosan didapatkan derajat deasetilasi sebesar 86,3202%. Elektrode membran Au/Kitosan yang berhasil dibuat ini mempunyai konsentrasi optimum 5% dengan pengukuran terbaik pada pH 7, waktu deposisi 5 detik, dan laju pindai 0,1 V/s. Karakterisasi biosensor deteksi pestisida karbamat menggunakan elektrode Au/Kitosan menunjukkan bahwa faktor Nernst yang didapat sebesar 35,46 mV/dekade, batas deteksi sebesar 2×10^{-8} M, jangkauan pengukuran sebesar 10^{-8} M sampai 10^{-2} M, waktu respon 5-7 menit, dan presisi dengan koefisien variasi untuk konsentrasi 10^{-4} M dan 10^{-2} M adalah 1,095% dan 0,412% sehingga elektrode membran Au/Kitosan tersebut dapat digunakan untuk mendeteksi pestisida karbamat secara efektif.

Kata kunci : Kitosan, Elektrode, Membran, dan Pestisida.

Abstract. Pesticides are chemicals that can kill or control pests. However, the current use of pesticides poses a threat to humans and the environment. This research aims to develop a biosensor with Au/Chitosan membrane electrode using chitosan from blood clam shell waste which has high sensitivity to pesticides, fast response time, and long-term stability. So as to achieve the target of Sustainable Development Goals (SDG's) 3, namely health and well-being. The method used is the preparation of blood clam shells, synthesis of chitosan from blood clam shells, making Au/Chitosan membrane electrodes, characterisation of pesticide detection biosensors. The results of FTIR testing of chitosan obtained a degree of deacetylation of 86.3202%. The successfully made Au/Chitosan membrane electrode has an optimum concentration of 5% with the best measurement at pH 7, deposition time of 5 seconds, and scan rate of 0.1 V/s. Characterisation of carbamate pesticide detection biosensor using Au/Kitosan electrode shows that the Nernst factor obtained is 35.46 mV/decade, detection limit is 2×10^{-8} M, measurement range is 10^{-8} M to 10^{-2} M, response time is 5-7 minutes, and precision with coefficient of variation for 10^{-4} M and 10^{-2} M concentration is 1.095% and 0.412% so that the Au/Chitosan membrane electrode can be used to detect carbamate pesticides effectively.

Key words: Chitosan, Electrode, Membranes, and Pesticides.

PENDAHULUAN

Penggunaan pestisida yang tidak tepat menyebabkan kasus keracunan pestisida marak terjadi. Sehingga pestisida menjadi ancaman besar bagi petani dan pekerja pertanian lainnya. Sebagai hasil dari laporan tahunan Pusdatin Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia (BPOM RI), tercatat 334 kasus keracunan pestisida di seluruh negeri pada tahun 2019, dengan 147 di antaranya disebabkan oleh pestisida pertanian [1]. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) memperkirakan sekitar 68.493 kasus keracunan pestisida kimia per hari, atau 25 juta kasus setiap tahun. Pestisida memiliki tingkat toksisitas yang tinggi karena kemampuan mereka untuk menghambat aktivitas asetilkolinesterase (AChE) secara irreversibel di kedua sistem saraf pusat dan tepi, juga dikenal sebagai perimenter saraf. Akibatnya, deteksi pestisida dalam produk pertanian adalah kebutuhan mendesak untuk keselamatan dan perlindungan lingkungan yang harus ditangani segera [2].

Desa Kalanganyar, yang terletak di Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, memiliki potensi perikanan yang sangat besar, mulai dari perikanan tangkap hingga perikanan darat, seperti tambak dan budidaya. Masyarakat desa Kalanganyar bergantung pada nelayan dan pembudidaya ikan, dengan luas tambak 2.517 ha [3]. Budidaya perikanan menghasilkan berbagai produk, seperti udang, ikan bandeng, mujaer, patin, dan kerak darah, antara lain. Nelayan juga menghadapi masalah limbah cangkang kulit kerang darah yang meningkat. Sihmawati menyatakan bahwa limbah cangkang kerang darah hanya digunakan untuk tujuan domestik, seperti sebagai campuran pakan ternak. Akibatnya, limbah cangkang kerang darah harus diolah lebih lanjut agar lebih bermanfaat [4].

Cangkang kerang darah mengandung beberapa senyawa bermanfaat seperti kitin, kalsium karbonat, kalsium hidroksiapatit dan kalsium fosfat [5]. Kandungan kitin dalam cangkang kerang darah sebesar 14-35%. Kitin dalam cangkang tersebut dengan beberapa proses dapat diubah menjadi kitosan [6].

Pembuatan matriks sensor sebagai elektrode kerja dalam analisis voltametri siklik telah banyak diteliti untuk digunakan dalam berbagai aplikasi. Voltametri siklik memiliki kelebihan yaitu mampu menganalisis

menggunakan dua sapuan (*sweep*) bolak-balik sehingga informasi reaksi redoks analit dapat teramati dengan baik. Salah satu bagian penting pada voltametri siklik adalah elektrode kerja [7]. Elektrode Au memiliki sifat fisikokimia yang unik seperti biokompatibilitas yang baik, permukaan aktif, sifat katalitik dan konduktivitas yang sangat baik. Selain itu, elektrode Au dapat meningkatkan transfer elektron antara pusat redoks dan permukaan elektrode dan bertindak sebagai katalis untuk reaksi elektrokimia [8].

Mashuni, et al., (2022) mengembangkan biosensor untuk deteksi pestisida menggunakan elektrode nanokomposit Ag/r-*GrapheneOxide*/Kitosan dari kulit udang. Hasilnya menunjukkan efek elektrokatalik yang baik untuk penentuan pestisida karbaril. Akan tetapi, terdapat beberapa kelemahan, seperti stabilitas, selektivitas, biokompatibilitas elektrode Ag/rGO/Kitosan yang lebih rendah dibandingkan dengan elektrode Au/Kitosan [9]. Oleh karena itu, riset ini membuat biosensor dengan elektrode membran Au/Kitosan menggunakan kitosan dari limbah cangkang kerang darah yang sensitivitasnya tinggi terhadap pestisida, waktu respon yang cepat, dan stabilitas dalam jangka panjang. Hal ini, sejalan dengan salah satu target capaian *Sustainable Development Goals* (SDG's) 3 yaitu *health and well-being*.

METODE PENELITIAN

Bahan

Pada penelitian ini bahan yang dibutuhkan adalah: cangkang kerang darah, NaOH 3,5%, akuades, HCl 1,5 M, NaOH 50%, aseton, larutan standar etil karbamat 50 ppm, larutan KCl 2500 ppm, dan larutan *buffer* fosfat dengan variasi pH 5, 6, 7, dan 8.

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah: *magnetic stirrer*, oven, timbangan analitik, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), elektrode Au, *voltameter*.

Prosedur Penelitian

Preparasi Cangkang Kerang Darah

Cangkang kerang darah dicuci dan dibersihkan menggunakan air mengalir lalu dikeringkan sebelum dihaluskan menggunakan mesin penggiling menjadi bubuk.

Sintesis Kitosan

Proses sintesis kitosan melalui empat tahap, yang pertama adalah deproteinasi, mencampurkan sampel dengan larutan NaOH 3,5% dengan perbandingan 1:10 (b/v) dan dipanaskan pada suhu 65°C, lalu sampel kemudian disaring dan dibilas menggunakan akuades untuk menetralkan pH dan dikeringkan di suhu 80°C selama 6 jam. Tahap yang kedua adalah demineralisasi menggunakan larutan HCl 1,5 M yang diaduk dan dipanaskan di suhu 75°C selama 1 jam kemudian sampel disaring dan dibilas menggunakan akuades untuk menetralkan pH dan dikeringkan pada suhu 80°C. Tahap selanjutnya adalah tahap penghilangan warna (dekolorisasi) menggunakan aseton dengan perbandingan (1:15, b/v) dan dicuci dengan menggunakan akuades yang nantinya menghasilkan residu yang dikeringkan dalam pada suhu 80°C selama 6 jam untuk dihasilkan kitin. tahap yang terakhir adalah tahap deasetilasi, dengan menimbang kitin sebanyak 4 g dan menambahkan NaOH 50% dengan perbandingan (1:20, b/v) lalu dipanaskan dengan oven pada daya 450 Watt selama 15 menit, lalu diperoleh kitosan. Kitosan dicuci dengan akuades hingga pH netral kemudian dikeringkan pada suhu 45°C selama 24 jam. Kitosan yang dihasilkan kemudian diuji FTIR untuk menghitung derajat deasetilasi.

Pembuatan Elektrode Membran Au/Kitosan

Elektrode membran dibuat menggunakan badan elektrode Au dicelupkan dalam larutan kitosan dengan variasi konsentrasi 2%, 5%, dan 8% hingga terbentuk lapisan membran dan dibilas dengan akuades sebanyak tiga kali. Masing-masing bagian elektrode Au yang berlapis membran kitosan tersebut dicelupkan pada sel voltametri berisi larutan standar etil karbamat 50 ppm, KCl 2500 ppm. Pengukuran arus menggunakan dilakukan pada rentang beda potensial -2 Volt - 1 Volt, waktu deposisi 60 s, dan laju pindai 0,1 V/s. Hasil Voltammogram berupa puncak arus yang menunjukkan konsentrasi membran elektrode terbaik.

Pengaruh pH

Elektrode membran Au/Kitosan terbaik dicelupkan pada sel voltametri yang berisi larutan standar etil karbamat 50 ppm, larutan KCl 2500 ppm, dan larutan *buffer* fosfat dengan variasi pH

5, 6, 7, dan 8. Pengukuran arus pada rentang beda potensial -2 Volt – 1 Volt, waktu deposisi 60 s, dan laju pindai 0,1 V/s. Hasil voltammogram yang menunjukkan puncak arus diamati untuk menentukan kondisi pH optimum.

Pengaruh Waktu Deposisi

Elektrode membran Au/Kitosan terbaik dicelupkan pada sel voltametri yang berisi larutan standar etil karbamat 50 ppm, larutan KCl 2500 ppm, dan larutan *buffer* fosfat pH optimum. Pengukuran arus pada rentang beda potensial -2 Volt – 1 Volt, waktu deposisi dimulai dari 5, 10, 30, 60, dan 100 s, serta laju pindai 0,1 V/s. Hasil voltammogram yang menunjukkan puncak arus diamati untuk menentukan waktu deposisi optimum.

Pengaruh Laju Pindai

Elektrode membran Au/Kitosan terbaik dicelupkan pada sel voltametri yang berisi larutan standar etil karbamat 50 ppm, larutan KCl 2500 ppm, dan larutan *buffer* fosfat pH optimum. Pengukuran arus pada rentang beda potensial -2 Volt – 1 Volt, waktu deposisi dimulai dari 5, 10, 30, 60, dan 100 s, serta laju pindai 0,1 V/s. Hasil voltammogram yang menunjukkan puncak arus diamati untuk menentukan waktu deposisi optimum.

Pengujian Deteksi Pestisida

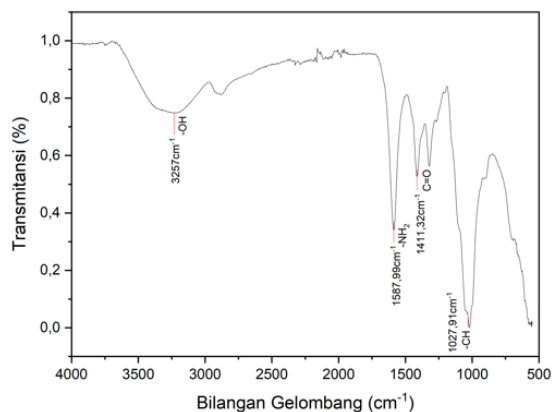
Nilai sensitivitas ditentukan dengan menggunakan grafik hubungan antara nilai potensial dan arus. Untuk mendapatkan nilai sensitivitas elektrode pestisida karbamat, sensitivitas merupakan nilai *slope* (b) persamaan regresi $y=bx+a$. Penentuan LoD dilakukan dengan menganalisis respon potensial rangkaian larutan standar berbagai konsentrasi pestisida [10].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi FTIR Kitosan

Cangkang kerang darah diolah menjadi kitosan melalui proses deproteinasi yang merupakan proses penghilangan protein dengan menggunakan pelarut yang bersifat basa yaitu NaOH 3,5%. Setelah dilakukan proses deproteinasi tahapan selanjutnya yaitu proses demineralisasi untuk penghilangan mineral yang terkandung menggunakan pelarut HCl. Pada proses demineralisasi ini, akan menghasilkan gas

CO₂. Hal ini dapat dilihat dari terbentuknya gelembung udara selama proses berlangsung. Kitin sebagai hasil demineralisasi dilanjutkan pada proses deasetilasi dengan penambahan NaOH 60% dilanjutkan analisis menggunakan spektroskopi *Fourier Transformation Infra Red* (FTIR).



Gambar 1. Karakterisasi FTIR kitosan

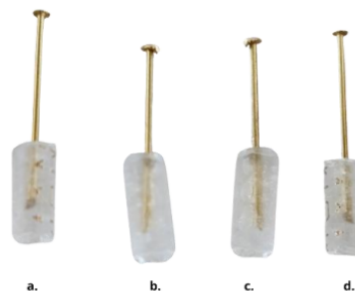
Pada gambar 1, terdeteksi gugus -OH pada bilangan gelombang 3257 cm⁻¹ berupa vibrasi uluran dengan puncak melebar. Ikatan C-H alkana terdeteksi pada puncak bilangan gelombang 2822,25 cm⁻¹. Vibrasi tekuk dari gugus -NH₂ primer terdeteksi pada puncak khas kitosan dengan bilangan gelombang 1587,99 cm⁻¹. Menurut Silverstain & Webster dijelaskan getaran tekuk -NH₂ primer terdapat diantara rentang bilangan gelombang 1640-1560 cm⁻¹ [11]. Pada pita serapan lemah 1411,32 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus fungsi C=O, pada serapan sedang 1027,91 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus fungsi -CH. Nilai derajat deasetilasi dihitung dengan metode *baseline* yang dikemukakan oleh Baxter et al (1992) [12]. Penentuan nilai panjang titik yang ditetapkan agar lebih akurat dibantu dengan *software* Origin. Setelah dilakukan perhitungan diperoleh nilai derajat deasetilasi sebesar 86,3202%.

Menurut SNI spesifikasi derajat deasetilasi kitosan yang sesuai dengan mutu yang ditetapkan minimal bernilai 75%. Nilai derajat deasetilasi kitosan tersebut telah memenuhi dari batas minimal derajat deasetilasi yang ditetapkan oleh SNI. Derajat deasetilasi yang tinggi disebabkan oleh banyaknya gugus asetil yang hilang, sehingga massa molekulnya kecil [13]. Berdasarkan analisis spektrum FTIR, kitosan kerang darah memiliki gugus fungsi utama yaitu

gugus hidroksil (OH) dan gugus amina primer (NH₂). Gugus-gugus fungsi ini memberikan sifat bioaktif dan biokompatibel pada kitosan kerang darah.

Elektrode Membran Au/Kitosan

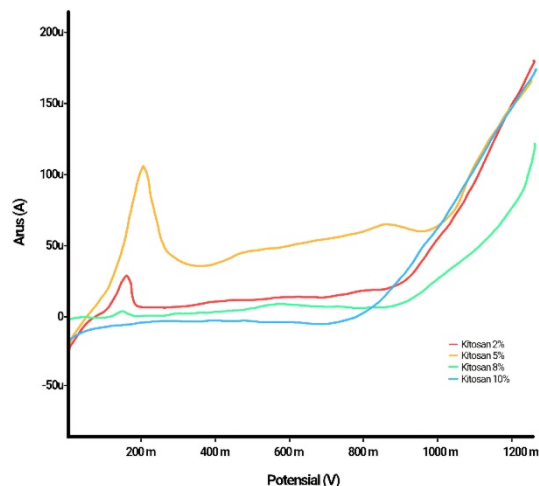
Pembuatan elektrode membran dibuat menggunakan badan elektrode Au yang dicelupkan dalam larutan kitosan dengan variasi konsentrasi 2%, 5%, dan 8% hingga terbentuk lapisan membran.



Gambar 2. Elektrode membran (a) Au/Kitosan 2% (b) Au/Kitosan 5% (c) Au/Kitosan 8% (d) Au/Kitosan 10%.

Pada gambar 2 setiap masing-masing bagian elektrode Au dilapisi dengan membran kitosan. Kemudian dидiamkan hingga menempel pada elektrode Au dan setelahnya dicelupkan pada sel voltametri berisi larutan standar etil karbamat 50 ppm, KCl 2500 ppm. Pengukuran arus menggunakan dilakukan pada rentang beda potensial -2 Volt -1 Volt, waktu deposisi 60 s, dan laju pindai 0,1 V/s.

Penentuan Konsentrasi Kitosan Optimum



Gambar 3. Voltammogram hasil penentuan

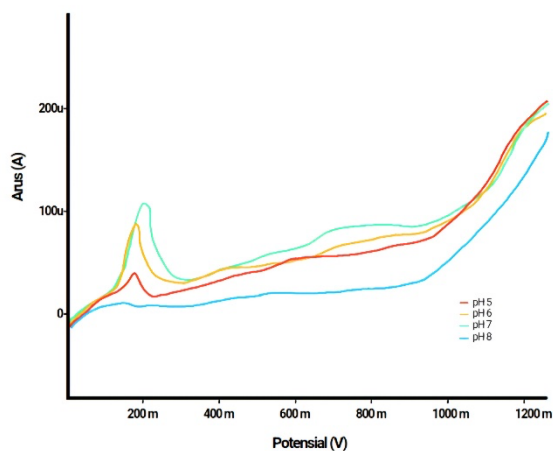
konsentrasi kitosan

Pada gambar 3 menunjukkan bahwa elektrode Au/Kitosan dibuat dengan variasi 2%, 5%, 8%, dan 10%. Melalui gambar 3 diperoleh nilai *anodic peak current* (I_{pa}) dan *cathodic peak current* (I_{pc}). Komposisi terbaik dilihat dari nilai I_{pa} dan I_{pc} tertinggi yaitu komposisi 5%. Adanya jumlah kitosan yang lebih banyak pada komposisi tersebut membuat transfer elektron terjadi lebih baik dibandingkan komposisi yang lainnya.

Tabel 1. Nilai I_{pa} dan I_{pc} pada Konsentrasi Kitosan

Konsentrasi	I_{pa}	I_{pc}
2%	$-4,708 \times 10^{-4}$	-0,001020397
5%	0,0012067	-0,0045288086
8%	$-2,727 \times 10^{-4}$	0,0023017070
10%	$6,096 \times 10^{-4}$	0,0043306679

Penentuan pH Optimum



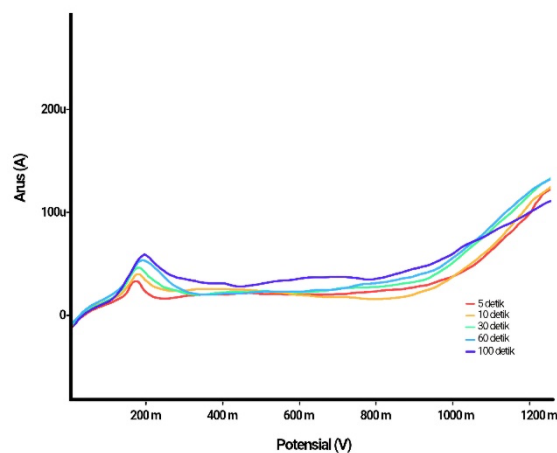
Gambar 4. Voltammogram hasil penentuan pH optimum

Pada gambar 4 menunjukkan variasi pH *buffer* fosfat dibuat dengan rentang pH 5 - pH 8. Melalui gambar 4 diperoleh hasil I_{pa} dan I_{pc} . Pengaruh pH pada pengukuran etil karbamat menggunakan elektrode Au/Kitosan memiliki kondisi optimum pada pH 7. Hasil tersebut didukung oleh I_{pa} dan I_{pc} pH 7 yang menunjukkan nilai tertinggi dibandingkan pH yang lain.

Tabel 2. Nilai I_{pa} dan I_{pc} pada Pengaruh pH

pH	I_{pa}	I_{pc}
5	$6,250 \times 10^{-4}$	-0,00172159
6	$8,246 \times 10^{-4}$	-0,00161071
7	0,00151316	-0,001872789
	69	
8	0,00111480	-0,001540158
	431	

Penentuan Waktu Deposisi Optimum



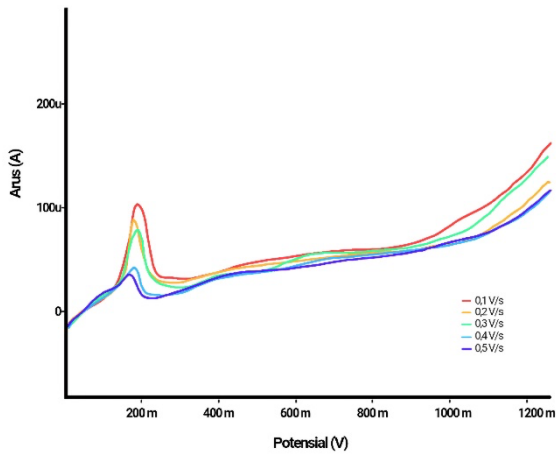
Gambar 5. Voltammogram hasil penentuan waktu deposisi optimum

Waktu deposisi merupakan waktu yang diperlukan analit untuk mengumpul pada permukaan elektrode. Variasi waktu deposisi yaitu 5, 10, 30, 60, dan 100 s. Pada gambar 5 diperoleh nilai I_{pa} dan I_{pc} dari masing-masing variasi waktu deposisi. Nilai I_{pc} waktu deposisi 5 detik memiliki nilai tertinggi. Semakin bertambah waktu deposisi terjadi penurunan puncak arus katoda (I_{pc}) hal ini disebabkan oleh analit yang dianalisis semakin berkurang sehingga puncak arus ikut menurun.

Tabel 3. Nilai I_{pa} dan I_{pc} pada Pengaruh Waktu Deposisi

Waktu deposisi (s)	I_{pa}	I_{pc}
5	$-6,553 \times 10^{-4}$	-0,00418
10	$5,797 \times 10^{-4}$	-0,00376
30	0,001441142	-0,00349
60	0,0019644143	-0,00325
100	0,0023296853	-0,00297

Penentuan Laju Pindai Optimum



Gambar 6. Voltammogram hasil penentuan laju pindai optimum

Transfer elektron yang terjadi pada elektrode Au/Kitosan dapat dipengaruhi oleh *scan rate* yang digunakan. Variasi laju pindai yang digunakan yaitu 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; dan 0,5 V/s. Pengaruh laju pindai terhadap analisis penentuan etil karbamat menggunakan elektrode Au/Kitosan menunjukan kondisi optimum pada laju pindai 0,1 V/s. Jika dibandingkan dengan laju pindai yang lain, laju pindai 0,1 V/s memiliki rentang jarak yang lebih jauh dan signifikan. Oleh karena itu laju pindai 0,1 V/s dipilih untuk digunakan pada pengukuran selanjutnya.

Tabel 4. Nilai I_{pa} dan I_{pc} pada Pengaruh Laju Pindai

Laju pindai (V/s)	I_{pa}	I_{pc}
0,1	0,001076261	-0,00199
0,2	0,001189808	-0,00212
0,3	0,0012457752	-0,00220
0,4	0,0013080812	-0,00240
0,5	0,0013836236	-0,00257

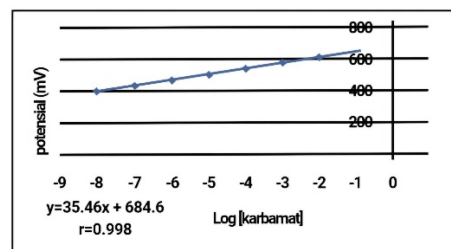
Kurva Kalibrasi Karbamat

Pembuatan kurva kalibrasi karbamat diperoleh dari pengukuran potensial larutan karbamat pada konsentrasi 10^{-10} - 10^{-1} M pada

pH optimum yaitu pH 7 dengan menggunakan elektrode 5% yang merupakan elektrode optimum. Data pengukuran ditunjukkan pada Tabel 5. Dari data tersebut kemudian dibuat kurva dengan mengambil kurva yang menunjukkan garis lurus sebagai kurva kalibrasi dimana ditunjukkan pada gambar 7. Kurva kalibrasi yang diperoleh memiliki jangkauan konsentrasi antara 10^{-8} - 10^{-2} M.

Tabel 5. Data pengukuran karbamat menggunakan elektrode 5%

Konsentrasi Karbamat (M)	Potensial (mV)
10^{-10}	382
10^{-9}	368
10^{-8}	395
10^{-7}	439
10^{-6}	479
10^{-5}	506
10^{-4}	542
10^{-3}	577
10^{-2}	613
10^{-1}	636



Gambar 7. Kurva kalibrasi karbamat

Jangkauan Pengukuran Biosensor

Jangkauan pengukuran merupakan rentang antara konsentrasi terendah dan konsentrasi tertinggi analit dalam suatu sampel yang memiliki linieritas yang diinginkan. Elektrode yang baik akan memiliki jangkauan pengukuran yang luas. Pada riset ini jangkauan pengukuran ditentukan dari elektrode dengan komposisi kitosan 5% karena memiliki faktor Nernst dan linieritas yang paling baik pada jangkauan konsentrasi berbeda-beda. Dari

hasil perhitungan diperoleh jangkauan pengukuran 10^{-8} - 10^{-2} M dari elektrode 5% yang memiliki faktor Nernst 35,46% mV/dekade. Data selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Jangkauan pengukuran untuk elektrode 5%

Elektrode	Konsentrasi (M)	Regresi	Faktor Nernst	r
Au/Kitosan 5%	10^{-8} - 10^{-2}	$y = 35,46x + 684,6$	35,46	0,998
	10^{-7} - 10^{-2}	$y = 34,28x + 680,2$	34,28	0,999

Batas Deteksi Biosensor

Batas deteksi menunjukkan konsentrasi terkecil dari analit yang masih dapat dideteksi oleh alat, dalam hal ini adalah voltameter. Nilai batas deteksi dapat diperoleh dengan menentukan titik potong antara garis linier dengan garis non-linier dari kurva standar. Dari hasil riset diperoleh limit deteksi sebesar 2×10^{-8} M. Nilai tersebut menunjukkan bahwa elektrode Au/Kitosan baik untuk digunakan karena memiliki batas deteksi yang rendah.

Presisi Biosensor

Presisi merupakan ukuran yang menunjukkan derajat kesesuaian dari hasil pengukuran yang dilakukan secara berulang-ulang pada sampel yang sama. Pada riset ini hanya dilakukan penentuan presisi pada kategori *repeatability*, yaitu pengukuran menggunakan metode yang dilakukan berulang-ulang oleh analisis yang sama, pada kondisi yang sama, dan dalam interval waktu yang pendek.

Untuk menentukan presisi pada riset ini digunakan larutan karbamat dengan konsentrasi 10^{-4} M dan 10^{-2} M dengan pengulangan pengukuran sebanyak 3 kali.

Nilai presisi dapat ditentukan dengan menghitung simpangan baku (Standar Deviasi) dan koefisien variasi (KV) dari harga potensial masing-masing larutan. Semakin kecil nilai presisi menunjukkan semakin teliti pengukuran yang dilakukan.

Tabel 7. Koefisien variasi pengukuran

Konsentrasi	Potensial (mV)			Standar Deviasi (SD)	Koefisien Variasi (%) (KV)
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3		
10^{-4}	542	548	554	6	1,095
10^{-2}	611	609	614	2,517	0,412

Waktu Respon

Waktu respon didefinisikan sebagai waktu yang berlalu sebelum perubahan pembacaan atau merupakan waktu yang diperlukan suatu elektrode biosensor untuk mencapai nilai potensial yang stabil atau konstan [10]. Dari hasil riset ini waktu yang dibutuhkan biosensor dalam menganalisis pestisida karbamat yaitu pada *range* 5-7 menit.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah telah berhasil dibuat elektrode membran Au/kitosan sebagai sensor senyawa karbamat dalam pestisida. Elektrode ini mempunyai konsentrasi optimum 5% dengan pengukuran terbaik pada pH 7, waktu deposisi 5 detik, dan laju pindai 0,1 V/s. Elektrode Au/Kitosan menunjukkan bahwa faktor Nernst yang didapat sebesar 35,46 mV/dekade, batas deteksi sebesar 2×10^{-8} M, jangkauan pengukuran sebesar 10^{-8} M sampai 10^{-2} M,

waktu respon 5-7 menit, dan presisi dengan koefisien variasi untuk konsentrasi 10^{-4} M dan 10^{-2} M adalah 1,095% dan 0,412% sehingga elektrode membran Au/Kitosan tersebut dapat digunakan untuk mendeteksi pestisida karbamat secara efektif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Pendidikan, Budaya, Riset, dan Teknologi atas bantuan dana yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terwujud. Selain itu terimakasih kepada tim penalaran dan keilmuan Universitas Negeri Surabaya yang telah sabar, meluangkan waktu, merelakan tenaga dan pikiran serta turut memberi perhatian dalam memberikan pendampingan selama proses penulisan artikel ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. BPOM RI. (2020). *Laporan Tahunan Pusat Data dan Informasi Obat dan Makanan Tahun 2019*. Jakarta: BPOM.
2. World Health Organization (WHO). (2019). *Global Situation of Pesticide Management in Agriculture and Public Health*.
3. BPS. (2018). *Kabupaten Sidoarjo dalam Angka*. Sidoarjo: BPS Sidoarjo.
4. Sihmawati, R. R. (2020). *Peningkatan Pendapatan Petani Tambak Melalui Pengolahan Hasil Perikanan di Desa Kalanganyar, Sedati, Sidoarjo*. Surabaya: UNTAG.
5. Saharudin, S. H., Shariffuddin, J. H., Nordin, N. I. A. A. (2017). Biocomposites from (*Anadara granosa*) shells waste for bone material applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 257(1).
6. Masindi, T., Herdyastuti, N. (2017). Karakterisasi Kitosan dari Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*). *Unesa Journal of Chemistry*, 6(3).
7. Rusnadi, W. R., Setiarso, P. (2020). Pembuatan Elektroda Nano Karbon untuk Analisis Logam Pb (II) secara Siklik Voltametri. *Unesa Journal of Chemistry*, 9(1), 72-77.
8. Mashuni, Ritonga, H., Jahiding, M., Hamid, F. H. (2022). Sintesis Kitosan dari Kulit Udang sebagai Bahan Membran Elektrode Au/Kitosan/GTA/AChE untuk Deteksi Pestisida. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 18(1), pp. 112-121.
9. Mashuni, Ritonga, H., Jahiding, M., Hamid, F. H. (2022). Highly Sensitive Detection of Carbaryl Pesticides Using Potentiometric Biosensor with Nanocomposite Ag/r-Graphene Oxide/Chitosan Immobilized Acetylcholinesterase Enzyme. *Chemosensors*, 138(10).
10. Bigman, J. L., Reinhardt, K. A. (2018). *Monitoring of Chemicals and Water, Handbook of Silicon Wafer Cleaning Technology*. Elsevier Inc.
11. Wafi, A., Atmaja, L., Ni'mah, Y. L. (2020). Analisis Kuat Tarik dan Elongasi Film Gelatin-Kitosan. *ALCHEMY Journal of Chemistry* 8(1), 1-8.
12. Baxter, A., Dillion, M., Taylor, K., Roberts, S. (1992). Improved Method for IR Determination of Degree of Acetylation of Chitosan. *Int. J. Biol. Macromol.*, 14, 166-169.
13. Baharuddin, S., Isnaeni, D. (2020). Isolasi dan Uji Aktivitas Kitosan Cangkang Kerang Bulu (*Anadara inflata*) sebagai Antibakteri terhadap *Staphylococcus epidermidis* dan *Escherichia coli*. *MPI (Media Pharmaceutica Indonesiana)*, 3(2), 60-69.