



## Uji Kinerja Sensor *Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) Simazin secara Potensiometri

Yohandri Bow<sup>1,\*</sup>, Adi Syakdani<sup>2</sup>, Indah Purnamasari<sup>3</sup>, Rusdianasari<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemical Engineering, Program Studi Teknik Energi, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia

<sup>2</sup>Department of Chemical Engineering, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia

<sup>3</sup>Department of Chemical Engineering, Program Studi Teknologi Kimia Industri, Politeknik Negeri Sriwijaya, Jl. Sriwijaya Negara, Palembang, Indonesia, 30139

<sup>4</sup>Department of Chemical Engineering, Program Studi Teknik Energi Terbarukan, Politeknik Negeri Sriwijaya, Jl. Sriwijaya Negara, Palembang, Indonesia, 30139

email: yohandri@polsri.ac.id

### ABSTRAK

*Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) adalah polimer sintesis dengan rongga yang spesifik untuk molekul target. Rongga (*cavities*) diperoleh akibat pembuangan *template*, dimana rongga tersebut berfungsi mengenal molekul dengan ukuran, struktur serta sifat-sifat fisika kimia yang sama dengannya. Polimer yang dihasilkan dari teknik MIP ini diterapkan pada permukaan material sensor sebagai instrumen pendeteksi dan penganalisis simazin. Keunggulan dari MIP adalah sistem sensor yang telah mampu memberikan hasil analisis suatu cemaran secara cepat, mudah dan dalam konsentrasi yang rendah (ppm). Tujuan dari penelitian ini adalah membuat MIP simazin sebagai sensor cemaran dan uji kinerja secara potensiometri. Hasil penelitian mendapatkan kondisi optimum pembuatan *Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) simazin diperoleh dengan komposisi 6,02 mL kloroform; simazin 0,025 g; 0,9 mL *methacrylic acid* (MAA); 1,57 mL *ethylene glycol methacrylic acid* (EGMA); 0,07 g *benzoyl peroxide* (BPO) dengan waktu pemanasan selama 150 menit pada temperatur 70°C. Uji kinerja sensor dilakukan secara potensiometri dan diperoleh sensor MIP simazin yang dibuat memiliki sensitivitas dan stabilitas pada rentang konsentrasi 0,01-1,0x10<sup>-3</sup> ppm dengan batas deteksi sebesar 0,01x10<sup>-3</sup> ppm dan masa pakai mencapai 90 hari.

**Kata kunci:** molecularly imprinted polymer, simazin, sensor, potensiometri

### ABSTRACT

*Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) is a technique of polymer preparation derived from cross-linked polymers and it has cavities that are appropriate with templates. Those cavities also functions as media of molecular mechanical interaction that have the same size, shape, structure and physical chemistry. Polymers resulted from MIP techniques are applied on the surface of the sensor material as detecting instrument and analyzer of simazine. The advantages of MIP are based on its sensor systems that have been able to provide quick and easy pollutant analysis results (ppm). The aim(s) of this research are to synthesize MIP simazine as sensors of pollutant and performance with potentiometric. In the result of the research, it is shown the optimum condition of *Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) simazine obtained with composition of 6.02 mL chloroform; 0.025 g simazine; 0.9 mL *methacrylic acid* (MAA); 1.57 mL *ethylene glycol methacrylic acid* (EGMA); 0.07 g *benzoyl peroxide* (BPO) with heating time 150 minutes at 70°C. The sensor performance test was carried out in potentiometric way and it was got that the designed MIP simazine has sensitivity and stability in the concentration range of 0.01-1.0x10<sup>-3</sup> ppm with detection limit of 0.01x10<sup>-3</sup> ppm, and life time reached 90 days.

**Keywords:** molecularly imprinted polymer, simazine, sensor, potentiometry



## 1. PENDAHULUAN

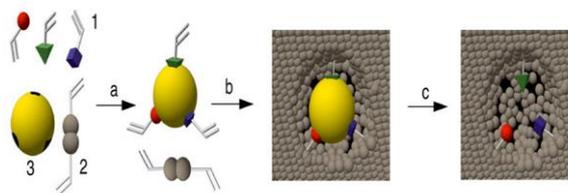
Indonesia merupakan negara agraris yang memiliki lahan pertanian dan lahan perkebunan yang luas. Permasalahan yang sering muncul pada lahan pertanian adalah banyaknya hama yang dapat menurunkan bahkan merusak hasil panen. Dalam pengelolaan dan perawatan tanaman tidak lepas dari penggunaan pestisida dan herbisida untuk mengatasi gangguan hama tanaman. Pestisida dan herbisida merupakan bahan kimia aktif yang digunakan untuk membasmi hama tanaman yang merupakan cemaran bagi lingkungan dan manusia yang mengkonsumsi produk pertanian dan perkebunan [1].

Jumlah penggunaan pestisida ini dikhawatirkan akan semakin meningkat dari tahun ke tahun karena bagi para petani penggunaan pestisida merupakan sebuah keharusan untuk meningkatkan hasil panen [2]. Dampak dari penggunaan herbisida yang mengandung simazin akan sangat membahayakan karena dapat mengkontaminasi lingkungan di sekitarnya [3].

Analisis residu pestisida dalam bahan pangan dan lingkungan perlu dilakukan, agar dapat diketahui tingkat toksisitas serta resiko yang ditimbulkan baik terhadap makhluk hidup maupun lingkungan. Teknik yang umum digunakan mendeteksi residu pestisida adalah kromatografi gas (GC) atau kromatografi cair tekanan tinggi (HPLC) [4]. Kelemahan metode analisis GC dan HPLC adalah perlakuan ekstraksi dan pemurnian di laboratorium yang membutuhkan pelarut dan waktu analisis yang lebih lama yang memungkinkan terdapatnya resiko kesalahan. Oleh karena itu, untuk mengatasi kekurangan tersebut saat ini sedang dikembangkan metode baru untuk analisis residu pestisida simazin dengan *Molecular Imprinted Polymer* (MIP) [5-7].

MIP adalah polimer sintetis dengan rongga yang spesifik untuk molekul target. Rongga (*cavities*) diperoleh akibat pembuangan *template*, dimana rongga tersebut berfungsi

mengenal molekul dengan ukuran, struktur serta sifat-sifat fisika kimia yang sama dengannya. Selektivitas dan afinitas *template* sendiri akan meningkat dengan bertambahnya nilai konsentrasi. Prinsip umum MIP seperti pada Gambar 1 [8].



keterangan: (1) *cross-linker*, (2) monomer fungsional dan (3) *template*

**Gambar 1.** Prinsip umum pembentukan MIP

MIP merupakan suatu teknik pengikatan silang untuk menghasilkan suatu polimer (*cross-linked polymers*) yang memiliki rongga dengan kesesuaian tempat (*template*), dimana rongga tersebut berfungsi mengenali molekul dengan ukuran, bentuk, struktur serta sifat-sifat fisika kimia yang sama dengan adanya interaksi mekanis yang didasarkan pada kesesuaian molekul. Dalam sintesis MIP, banyak parameter yang harus diperhatikan karena parameter tersebut dapat mempengaruhi morfologi, karakteristik dan kegunaan dari polimer tersebut. Dalam sintesis MIP, pemilihan reagen kimia menjadi hal yang penting dalam menghasilkan MIP fungsional yang efisien.

Polimer yang dihasilkan dari teknik MIP ini dapat diterapkan pada permukaan material sensor yang memiliki selektivitas dan efektivitas yang tinggi, kecepatan respon, biaya yang relatif murah, serta pengoperasian yang mudah, maka MIP menjadi alternatif analisis sebagai instrumen pendeteksi dan penganalisis. Keunggulan dari MIP adalah sistem sensor yang telah mampu memberikan hasil analisis suatu polutan secara cepat, mudah dan handal pada jumlah renik [9,10].

MIP merupakan suatu metoda yang ditawarkan untuk membuat material polimer yang dapat diaplikasikan sebagai sensor untuk mengenal benda asing “target”, sensor pengenalan unsur kimiawi dan biologis [11,12] seperti yang ada pada obat-obatan dan makanan [13]. MIP merupakan suatu metodologi yang dikembangkan untuk menghasilkan rongga (*cavities*) dari molekul khusus yang kelakuannya meniru ikatan reseptor pada tempatnya. Satu jenis MIP tertentu dimungkinkan untuk dapat mengenali beberapa target. Setelah penumbuhan, *template* dibuang dan polimer tanpa *template* mampu mengenal kehadiran molekul *template* dengan derajat kemampuan yang tinggi [12]. Berkaitan dengan sifat sensing yang dimiliki MIP, maka polimer ini sangat mungkin untuk diaplikasikan sebagai material sensor.

Sifat *sensing* merupakan bagian penting dari polimer berbasis MIP. Sifat ini sangat bergantung pada karakteristik rongga yang dihasilkan. Rongga yang diperoleh dari proses pembuangan *template* ketika polimer telah terbentuk sebagai padatan ini akan menentukan kualitas polimer yang dihasilkan. Polimer dengan rongga yang memiliki sifat fisika-kimia dan bentuk ruang yang sama dengan *template* akan mampu mengenal target dengan baik [12]. Ketika hasil pengujian sifat sensing dari partikel MIP tersebut baik, maka diindikasikan bahwa polimer ini berpotensi untuk diterapkan sebagai sensor kerja dari sebuah sensor potensiometrik [13-15].

Keunggulan dari metoda potensiometrik ini adalah mencakup *lower cost* (voltmeter dan sensor jauh lebih murah dibanding instrumen-instrumen saintifik modern lainnya), dan pemakaiannya mudah secara luas pada banyak molekul target. Potensiometrik bersifat nondestruktif, artinya penyisipan sensor tidak mengubah komposisi larutan uji. Potensial-potensial yang stabil sering diperoleh dengan cukup cepat. Kelemahannya adalah metoda ini tidak cocok untuk sel-sel yang melibatkan hambatan-hambatan internal yang tinggi,

seperti yang ditemukan dalam pengukuran dengan sensor gelas. Sensor bekerja dengan cara mengukur tegangan sebagai respon adanya perubahan konsentrasi akibat aktivitas dalam larutan uji [16] dalam hal ini konsentrasi larutan uji berupa simazin.

*Template* berfungsi untuk mengarahkan kelompok fungsional yang tergantung dengan monomer fungsional dalam semua proses *molecular imprinting*. Kebanyakan MIP menggunakan molekul organik kecil sebagai *template*. Struktur *imprinting* yang jauh lebih besar masih menjadi tantangan utama yaitu *template* yang lebih besar kurang *rigid*, sehingga tidak memfasilitasi pembuangan rongga pengikat dengan baik selama proses pencetakan.

Rongga-rongga ini dihasilkan dari proses pencucian terhadap polimer yang terbentuk dengan menggunakan pelarut yang melarutkan molekul analit tetapi tidak melarutkan polimer. Fungsi polimer MIP ini adalah sebagai bahan aktif sensor yang akan memiliki sifat sensing terhadap molekul analit pembentuknya atau molekul lain yang memiliki sifat fisika-kimia dengan bentuk ruang yang mirip dengan derajat kemampuan mengenal yang tinggi [12].

Proses pembuatan MIP terdiri dari tiga tahapan yaitu, proses polimerisasi, pembuangan *template* (yaitu monomer yang digunakan sebagai pencetak rongga yang ditinggalkan pada polimer), dan uji *sensing*.

Sensor potensiometri berupa elektroda selektif ion (ESI) merupakan elektroda membran yang merespon secara selektif aktivitas ion tertentu [17,18]. Membran yang digunakan dalam sensor potensiometrik penelitian ini adalah MIP simazin.

Sensor potensiometrik dipergunakan untuk mengukur potensial elektroda dari sel galvanik. Potensial dari sel galvanik tergantung pada aktivitas dari berbagai spesies yang menjalani reaksi di dalam sel tersebut. Persamaan yang menyatakan hubungan ini disebut persamaan Nernst.

Karakteristik sensor potensiometri ditunjukkan oleh beberapa parameter antara lain: waktu perendaman, faktor Nernst,

kisaran konsentrasi, batas deteksi, selektivitas, waktu respon, dan usia pemakaian. Parameter tersebut menunjukkan kualitas sensor potensiometrik untuk digunakan sebagai alat pengukuran.

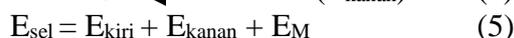
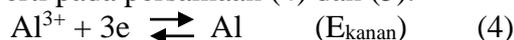
Pada penelitian ini dikembangkan elektroda kawat terlapis yang terbuat dari logam aluminium dilapisi dengan membran MIP sebagai agen (*sensing agent*), sebagai elektroda pembanding digunakan juga logam aluminium. Notasi sel potensiometri dapat dituliskan seperti pada persamaan (1).



jika Al kiri berfungsi sebagai anoda maka reaksi elektrokimia pada elektroda Al kiri seperti ditunjukkan pada persamaan (2) dan (3).



jika Al kanan berfungsi sebagai katoda maka reaksi elektrokimia pada elektroda Al kanan seperti pada persamaan (4) dan (5).



dengan ketentuan:

$$E_{\text{M}} = \text{potensial membran}$$

dikarenakan :  $E_{\text{kiri}} = - E_{\text{kanan}}$

maka :  $E_{\text{sel}} = E_{\text{membran}}$

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 ALAT DAN BAHAN YANG DIGUNAKAN

Bahan yang digunakan berupa larutan pre-polimer merupakan campuran dari simazin sebagai *template*, *methacrylic acid* (MAA) sebagai monomer, *ethylene glycol methacrylic acid* (EDMA) sebagai *cross-linker*, dan *benzoyl peroxide* (BPO) sebagai inisiator. Pemilihan BPO karena zat ini memiliki radikal bebas yang stabil sehingga cenderung bereaksi dengan molekul monomer secara reaktif dan BPO relatif murah di pasaran [3]. Pemilihan *cross-linker* dan pelarut yang tepat akan berpengaruh pada polimer yang dihasilkan [14].

Alat yang digunakan adalah sensor referensi Ag/AgCl, voltmeter, dan potensiometer.

### 2.2 TAHAPAN PENGUKURAN

Penelitian ini adalah untuk mendapatkan MIP simazin yang selanjutnya akan dipergunakan sebagai *layer* pada sensor kerja potensiometrik yang berbasis MIP simazin.

Pentahapan penelitian meliputi pembuatan NIP (*Non Imprinted Polymer*), pembuatan MIP (*Molecularly Imprinted Polymer*), pembuatan *template*, pembuatan badan sensor berbasis MIP, proses penempatan MIP pada permukaan sensor, dan pengukuran menggunakan sensor MIP dengan metode potensiometri.

Tahapan pengukuran dengan metode potensiometri meliputi menyiapkan larutan standar simazin dengan konsentrasi terendah hingga tertinggi, konsentrasi dimulai dari  $0,1 \times 10^{-3}$  ppm –  $1,0 \times 10^{-3}$  ppm dan melakukan pengukuran untuk masing-masing larutan pada hari pertama.

Selanjutnya melakukan pengukuran hingga terjadinya perubahan potensial (pengukuran hari 1, 20 hari, 45 hari dan 90 hari), lamanya kestabilan potensial diperlukan untuk melihat usia pemakaian (*life time*) dari sensor yang dibuat.

Adapun kondisi operasi saat pengukuran dengan asumsi:

Suhu lingkungan : 22-30 °C

Tekanan Lingkungan : 760 mmHg

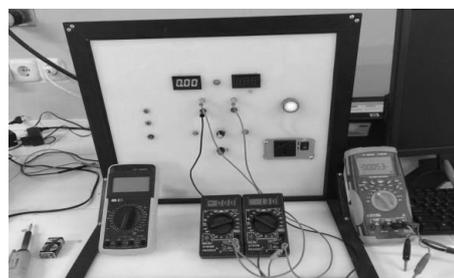
Kelembaban Udara : 58-60%

*Current use* : Range 20mA/

0,01 mA DC

dan Range~500mA/0,01 mA AC

Peralatan yang digunakan untuk pengukuran potensial dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Peralatan pengukuran potensial.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 KONDISI OPTIMUM PEMBUATAN MIP

Pembuatan MIP dilakukan dengan mencampurkan semua bahan secara berurutan dan dilakukan pengadukan. Campuran awal *methacrylic acid* memiliki perbandingan mol yang lebih besar dibandingkan dengan simazin, dengan tujuan agar ketika direaksikan, akan terbentuk *template* simazin yang dikelilingi oleh *methacrylic acid*.

Berdasarkan penelitian pembuatan MIP simazin diperoleh data kondisi optimum pembuatan MIP yang dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Optimasi komposisi pembuatan MIP

Komposisi	Kondisi Fisik MIP
2,01 mL <i>chloroform</i> ; 0,3 mL MAA; 0,525 mL EDMA; BPO 0,07 g; 0,025 g simazin	Padat putih
6,02 mL <i>chloroform</i> ; 0,9 mL MAA; 1,575 mL EDMA; 0,07 g BPO; 0,025 g simazin	Padat bening

Proses polimerisasi dianggap selesai apabila cairan bening yang dipanaskan pada suhu 70°C berubah menjadi padatan bening *acrylic* seperti warna *methacrylic acid* (MAA) yang menempel pada *vial*. MIP yang telah dihasilkan ini kemudian digerus sampai dihasilkan serbuk MIP yang halus. Selanjutnya dilakukan pencucian untuk menghilangkan sisa-sisa reaktan pada proses polimerisasi dan menghilangkan *template* simazin.

Pembuatan MIP dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu waktu proses pembuatannya, komposisi bahan pembentuk MIP, serta pengadukan. Berdasarkan data kondisi optimum pada Tabel 1, dapat diketahui bahwa waktu optimum pembuatan MIP adalah 150 menit. Pembuatan MIP membutuhkan pengadukan yang stabil agar

pembuatan MIP berhasil. Pengadukan yang tidak stabil akan menyebabkan ikatan antar molekul menjadi renggang yang menyebabkan kegagalan. Komposisi sangat mempengaruhi keberhasilan pembuatan MIP. Berdasarkan penelitian, komposisi yang sesuai untuk keberhasilan pembuatan MIP adalah dengan meningkatkan masing-masing bahan menjadi tiga kali semula kecuali simazin dan BPO. Jumlah mol MAA dan EDMA ditambahkan berlebih agar terbentuk *template* simazin yang dikelilingi oleh bahan tersebut. Jumlah BPO tetap pada komposisi awal dan tidak ditambahkan jumlahnya dikarenakan BPO bertindak sebagai inisiator atau sebagai katalis

Selanjutnya sensor MIP yang telah dibuat dilakukan uji kinerja atau validasi sensor dengan cara melakukan pengukuran potensial terhadap sensor kerja secara potensiometri. Pengukuran untuk kurva kalibrasi dilakukan dengan rentang konsentrasi larutan yang telah ditentukan.

#### 3.2 USIA PEMAKAIAN SENSOR MIP SIMAZIN

Sensor MIP yang telah dibuat selanjutnya dilakukan pengukuran setiap hari dan dilaporkan dalam rentang 1, 20, 45, 90, dan 100 hari, hal ini didasarkan dari linieritas yang mengalami perubahan pada hari tersebut. Selanjutnya dilakukan penentuan pengukuran didasarkan linieritas yang terukur untuk menggambarkan usia pemakaian sensor MIP simazin.

Pengukuran dilakukan dengan rentang konsentrasi larutan uji yaitu:  $0,01 \times 10^{-3}$  ppm –  $1,0 \times 10^{-3}$  ppm. Pengukuran potensial dilakukan untuk setiap konsentrasi sehingga diperoleh hubungan antara konsentrasi simazin terhadap potensial yang terukur. Hubungan antara konsentrasi analit dapat ditunjukkan dengan persamaan (6):

$$a_i = Y_i \cdot c_i \quad (6)$$

dengan ketentuan:

- $a_i$  : aktivitas analit;
- $Y_i$  : koefisien keaktifan analit i;
- $c_i$  : konsentrai analit i.

Dengan kondisi dimana konsentrasi larutan encer (lebih rendah dari  $10^{-3}$  ppm), nilai  $Y_i$  mendekati 1 sehingga penggunaan aktivitas dapat digantikan dengan konsentrasi. Dengan demikian potensial sel dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (7) dan (8):

$$E = K \pm 2,303 \frac{RT}{zF} \text{Log } a_i \quad (7)$$

$$N = \frac{2,303 RT}{zF} \quad (8)$$

dengan ketentuan:

E: potensial sel;

K: konstanta elektroda;

R: tetapan gas ideal =  $8,34 \text{ J.mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ ;

T: temperatur (K);

$a_i$ : aktivitas analit;

z: muatan;

F: jumlah mol elektron ( $96.500 \text{ C/mol}$ )

N: slope

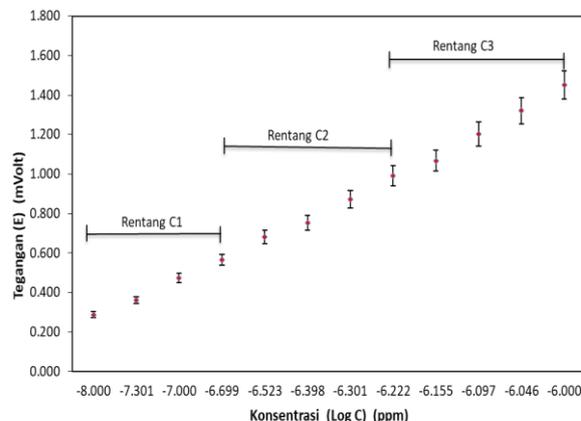
$\pm$ : tanda + diperuntukkan bagi kation dan - bagi anion

dimana, K adalah tetapan elektroda dan z adalah muatan.

Nilai C yang diperoleh dari persamaan adalah konsentrasi dari larutan uji. Konsentrasi larutan uji diukur dalam rentang konsentrasi  $0,01 \times 10^{-3}$  ppm -  $1,0 \times 10^{-3}$  ppm. Gambar 3, 4, dan Gambar 5 memperlihatkan grafik antara potensial MIP Simazin terhadap logaritma konsentrasi target pada hari ke-20, ke-45 dan ke-90. Hubungan antara potensial MIP simazin terhadap logaritma konsentrasi simazin dengan sensor aluminium pada hari ke-20 dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3 juga menunjukkan bahwa pada pengukuran hari ke-20, diperoleh 3 rentang konsentrasi pengukuran dengan kemiringan slope (N). Pada rentang konsentrasi  $0,01 \times 10^{-3}$  ppm -  $0,20 \times 10^{-3}$  ppm memiliki slope 0,0723 untuk rentang konsentrasi  $0,30 \times 10^{-3}$  ppm -  $0,60 \times 10^{-3}$  ppm memiliki slope sebesar 0,1137, sedangkan pada rentang konsentrasi  $0,70 \times 10^{-3}$  ppm -  $1,0 \times 10^{-3}$  ppm memiliki slope 0,1142. Kemiringan fungsi E (slope) meningkat

seiring dengan bertambahnya nilai konsentrasi target, error bar menunjukkan penyimpangan dari setiap pengukuran dimana terjadi linieritas terhadap kenaikan konsentrasi terhadap error bar yang terjadi

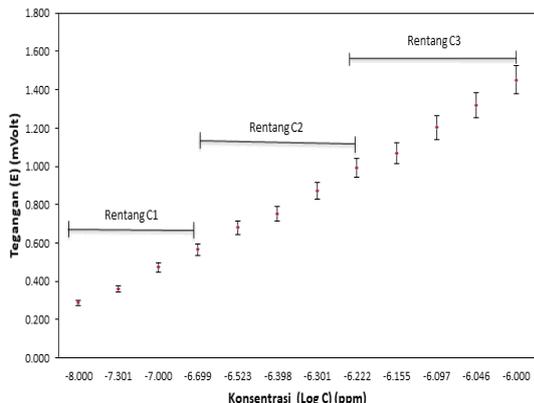


**Gambar 3.** Grafik antara potensial MIP simazin terhadap logaritma konsentrasi simazin dengan sensor aluminium hari ke-20

Sensor ini sensitif pada konsentrasi  $0,01 \times 10^{-3}$  ppm -  $1,00 \times 10^{-3}$  ppm. Hasil ini didukung oleh nilai kelinieran yang cukup tinggi,  $R^2 > 0,992$ . Selanjutnya dilakukan pengukuran ulang dengan menggunakan sensor setelah 45 hari dari pengukuran pertama dengan menggunakan sensor yang sama. Gambar 4 juga menunjukkan bahwa pada pengukuran tersebut diperoleh juga 3 rentang konsentrasi yang memiliki kemiringan slope (N). Hubungan antara potensial MIP simazin terhadap logaritma konsentrasi target pada sensor hari ke-45 dapat dilihat pada Gambar 4.

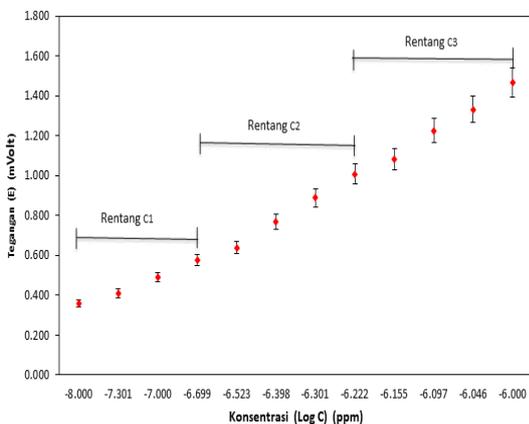
Pada rentang konsentrasi  $0,01 \times 10^{-3}$  ppm -  $0,20 \times 10^{-3}$  ppm memiliki slope 0,0726, untuk rentang konsentrasi  $0,30 \times 10^{-3}$  ppm -  $0,60 \times 10^{-3}$  ppm sebesar 0,1113, sedangkan pada rentang konsentrasi  $0,70 \times 10^{-3}$  ppm -  $1,00 \times 10^{-3}$  ppm memiliki slope 0,1150. Sensor ini sensitif pada konsentrasi target  $0,01 \times 10^{-3}$  ppm -  $0,10 \times 10^{-3}$  ppm. Hasil ini didukung oleh nilai kelinieran yang masih cukup tinggi,  $R^2 > 0,92$ . Kemiringan fungsi E (slope) meningkat seiring dengan bertambahnya nilai konsentrasi target, error

bar menunjukkan penyimpangan dari setiap pengukuran.



**Gambar 4.** Grafik antara potensial MIP simazin terhadap logaritma konsentrasi target pada sensor hari ke-45

Selanjutnya dilakukan pengukuran ulang dengan menggunakan sensor yang sama pada hari ke-90. Gambar 5 menunjukkan bahwa hingga hari ke-90 pengukuran dengan menggunakan sensor masih memiliki rentang pengukuran dengan diperolehnya 3 nilai kemiringan slope (N).



**Gambar 5.** Grafik antara potensial MIP simazin terhadap logaritma konsentrasi target pada sensor hari ke-90

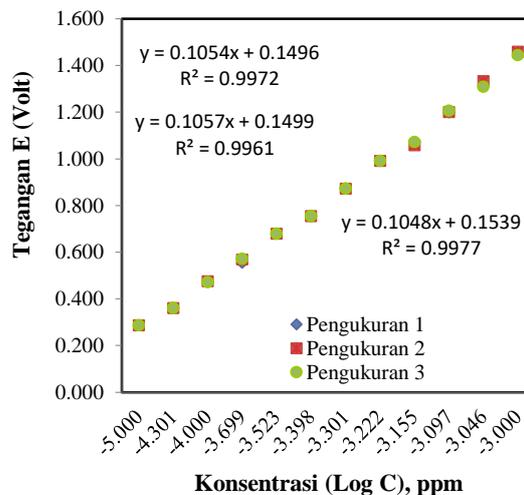
Pada rentang konsentrasi  $0,01 \times 10^{-3}$  ppm -  $0,20 \times 10^{-3}$  ppm memiliki slope 0,0268, untuk rentang konsentrasi  $0,30 \times 10^{-3}$  ppm -  $0,60 \times 10^{-3}$  ppm sebesar 0,1480, sedangkan pada rentang konsentrasi  $0,70 \times 10^{-3}$  ppm -

$1,00 \times 10^{-3}$  ppm memiliki slope 0,1452. Sensor ini sensitif pada konsentrasi target  $0,01 \times 10^{-3}$  ppm -  $0,10 \times 10^{-3}$  ppm. Pada hari ke-90 terlihat bahwa nilai kelinieran mulai menurun  $R^2 > 0,893-0,935$  hal ini menggambarkan kinerja sensor mulai menurun.

### 3.3 REPITABILITAS SENSOR

Sensor yang baik memiliki repitabilitas atau keterulangan yang baik. Data pengukuran menunjukkan repitabilitas sensor yang ditampilkan pada Gambar 6.

Selanjutnya dilakukan pengukuran ulang pada sensor setelah 100 hari dari pengukuran pertama dengan menggunakan sensor yang sama. Gambar 6 menunjukkan bahwa pada pengukuran tersebut diperoleh rentang konsentrasi pengukuran dengan 3 nilai kemiringan pada slope (N). Repitabilitas sensor dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Grafik repitabilitas sensor hari ke-1

Gambar 6 memperlihatkan bahwa tiga grafik yang memberikan nilai yang mendekati sama sehingga menunjukkan bahwa pengukuran ke-1, ke-2, dan ke-3.

Hari pertama memiliki nilai pengukuran yang indetik secara signifikan dengan rentang  $R^2 > 98$ . Berdasarkan ketiga pengukuran tersebut dapat dikatakan bahwa

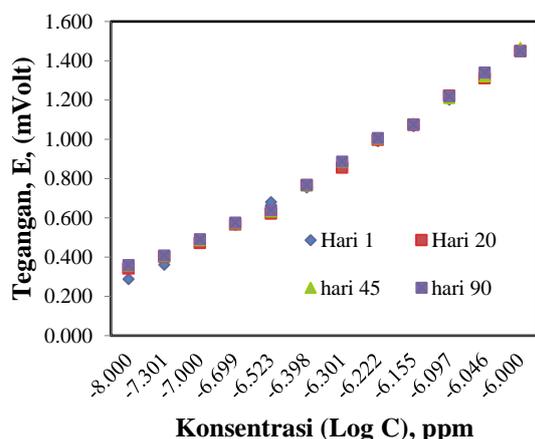
sensor memiliki repitabilitas yang baik dengan nilai R di atas 95.

### 3.4 STABILITAS SENSOR

Penentuan stabilitas sensor MIP didasarkan pada perbedaan nilai sensitivitas awal dengan sensitivitas pada waktu pengukuran terakhir. Bila selisih tersebut  $\leq 0,002$  V/decade maka pengukuran masih stabil. Stabilitas ditentukan pada satuan hari.

Untuk mengetahui stabilitas sensor maka dilakukan pengukuran kembali setelah pengukuran hari pertama, yaitu pada hari ke-20, hari ke-45, dan hari ke-90. Data pengukuran dapat diplot dalam grafik yang ditampilkan pada Gambar 7.

Dari Gambar 7 grafik pengukuran hari ke-1, ke-20, ke-45, dan ke-90 memberikan respon pengukuran mendekati yang menunjukkan bahwa sensor ini memiliki stabilitas yang baik. Sensor MIP masih stabil sampai hari ke-90, sebab perubahan sensitivitas yang didapat  $\leq 2$  mV/decade pada rentang konsentrasi  $0,01 \times 10^{-3}$  –  $1,0 \times 10^{-3}$  ppm. Hal ini menunjukkan bahwa sensor sensitif dan stabil pada rentang konsentrasi  $0,01 \times 10^{-3}$  –  $1,0 \times 10^{-3}$  ppm.



**Gambar 7.** Grafik stabilitas sensor simazin

### 3.5 SENSITIVITAS SENSOR

Percobaan validasi sensor yang diutamakan pada penelitian tahap awal adalah penentuan sensitivitas (Faktor Nernst) sensor. Dalam hal ini, sensitivitas sensor ditentukan

berdasarkan kemiringan (slope) kurva kalibrasi (pada rentang konsentrasi pengukuran) larutan simazin standar yang diperoleh. Kinerja sensor yang baik dilihat dari nilai slope sekitar 59,0 mV/decade atau 0,059 V/decade pada suhu 25°C.

Rentang konsentrasi  $0,01 \times 10^{-3}$  –  $0,2 \times 10^{-3}$  ppm merupakan rentang yang terbaik dari kedua rentang konsentrasi lainnya. Sensitivitas yang dihasilkan adalah 0,073 V/decade. Nilai sensitivitas yang diperoleh sudah masuk harga ideal yaitu  $\leq 0,059$  V/decade. Hasil menunjukkan bahwa respon potensial sel termasuk Nernstian.

### 3.6 BATAS DETEKSI

Berdasarkan uji kinerja yang telah dilakukan dengan jangkauan pengukuran dari sensor MIP simazin diperoleh sebesar  $0,010 \times 10^{-3}$  –  $1,0 \times 10^{-3}$  ppm. Hal ini dilihat dari linearitas dan stabilitas pengukuran pada rentang konsentrasi tersebut. Pada hari pertama pengukuran linearitas ( $r^2$ ) diperoleh  $> 0,99$ , pada hari ke-20 diperoleh  $r^2 > 0,99$ , pada pengukuran hari ke-45 diperoleh  $r^2 > 0,99$ , dan pada hari ke-90 masih diperoleh  $r^2 > 0,99$ . Berdasarkan nilai  $r^2$  menunjukkan bahwa kestabilannya sensor masih bekerja dengan baik, dengan demikian jangkauan pengukuran yang diperoleh pada rentang konsentrasi  $0,01 \times 10^{-3}$  ppm –  $1,0 \times 10^{-3}$  ppm.

## 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa kondisi optimum pembuatan *Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) simazine diperoleh dengan komposisi 6,02 mL kloroform; simazin 0,025 g; 0,9 mL MAA; 1,57 mL EGDMA; 0,07 g BPO dengan waktu pemanasan selama 150 menit pada temperatur 70°C.

Uji kinerja sensor dilakukan secara potensiometri dan diperoleh sensor MIP simazin yang dibuat memiliki sensitivitas dan stabilitas pada rentang konsentrasi  $0,01$ – $1,0 \times 10^{-3}$  ppm dengan batas deteksi sebesar  $0,01 \times 10^{-3}$  ppm, sedangkan rentang konsentrasi endosulfan  $0,01$ – $1,0 \times 10^{-6}$  ppm dan *life time* mencapai 90 hari.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi; Direktorat Jenderal Vokasi yang telah mendanai penelitian dasar ini untuk tahun anggaran 2021.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Andreu, Y. Pico, Determination of Pesticides and their Degradation Products in Soil: Critical Review and Comparison of Methods. *TrAC Trend in Analytical Chemistry*. vol. 23, no. 10-11, hal. 772-789, 2004.
- [2] I. Royani, An Atrazine Molecularly Imprinted Polymer Synthesized Using a Cooling-Heating Method with Repeated Washing: Its Physico-Chemical Characteristics and Enhanced Cavities. *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 9, hal. 5651-5662, 2014.
- [3] M.G. Rubio, A.R. Medina, M. Cardova, Multiresidue Analysis of Three Groups of Pesticides in Washing Waters from Olive Processing by Solid-Phase extraction-Gas Chromatography with Electron Capture and Thermionic Specific Detection. *Microchemical Journal*, vol. 85, no. 2, hal. 257-264, 2007.
- [4] Y. Bow, E. Sutriyono, S. Nasir, I. Iskandar, Molecularly Imprinted Polymers (MIP) based Electrochemical Sensor for Detection of Endosulfan Pesticide, *Int. Journal on Advanced. Science, Engineering and Information Technology*, vol. 7 no. 2, hal. 662-668, 2017.
- [5] T. Alizadeh, M.R. Ganjali, M. Akhoundian, Fabrication of an Extra Sensitive Voltammetric Sensor Using Nanoparticles of Molecularly Imprinted Polymer for Determination of Ultra-Trace Promethazine in Plasma Sample. *Int. J. Electrochem. Sci.* vol. 7, hal. 10427-10441, 2012.
- [6] M. R. Ganjali, T. Alizade, B. Larijani, F. Faridbod, P. Norouzi, Nano-Composite Clozapine Potentiometric Carbon Paste Sensor Based on Biometric Molecular Imprinted Polymer. *Int. J. Electrochem.Sci.* vol. 7, hal. 4756-4765, 2012.
- [7] Y. Bow, Hairul, I. Hajar, Molecularly Imprinted Polymers (MIP) based PVC-Membrane-Coated Graphite Electrode for the Determination of Heavy Metals, *Int. J. on Adv. Sci., Engineering and Information Technology*, vol. 5, no. 6, hal. 422-425, 2015.
- [8] A. Opik, A. Menaker, V. Syritski, Molecularly Imprinted Polymers: A New Approach to the Preparation of Functional Materials in: *Proceeding of the Estonian Academy of Sciences* vol. 58, no. 1, hal. 3-11, 2019.
- [9] J.J. BelBruno, Molecularly Imprinted Polymers, *Chem. Rev.* vol.119, no. 1, hal. 94-119, 2018.
- [10] Chen, C. Yin, B. J. Jennifer, Y. Mingdi, R. B. Paulo, A.P. Scott, Fluorescence-based Optical Sensor Design for Molecularly Imprinted Polymers. *Sensor and Actuators B: Chemical*, vol. 102, hal. 107-116, 2004.
- [11] Y. Bow, E. Sutriyono, S. Nasir, I. Iskandar, Preparation of Molecularly Imprinted Polymer Simazine as Material Potentiometric Sensor, in: *Proceeding Matec Web of Conference* 101, 01002, 2017.
- [12] R. Liang, R. Zhang, W. Qin, Potentiometric Sensor Based on Molecularly Imprinted Polymer for

- Determination of Melamine in Milk. *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 141, no.2, hal. 544-550, 2009.
- [13] M. Irshad, N. Iqbal, A. Mujahid, A. Afzal, T. Hussain, A. Sharif, E. Ahmad, M.M. Athar, Molecularly Imprinted Nanomaterials for Sensor Applications. *Nanomaterials* vol. 3, no. 4, hal. 615-637, 2013.
- [14] Y. Bow, Hairul, I. Hajar, Potentiometric Sensor for Endosulfan Pesticide based on Molecularly Imprinted polymer in: Proceeding Forum in Research, Science, and Technology (FIRST), 2016.
- [15] P.S. Sharma, A. Pietrzyk-Le, F. D'Souza, W. Kutner, Electrochemically Synthesized Polymers in Molecular Imprinting for Chemical Sensing. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* vol. 402, hal. 3177-3204, 2012.
- [16] Y.C. Chen, J. J. Brazier, M. Yan, P. R. Bargo, S. A. Pahl, Fluorescence-based Optical Sensor Design for Molecularly Imprinted Polymer. *Material Science, Sensor and Actuators B: Chemical* vol. 102, hal. 107-116, 2004.
- [17] Y. Bow, Hairul, I. Hajar, Application of Potentiometric Methods in Determination Total Organic Carbon Contents of Soil, *Int. J. on Adv. Sci., Engineering and Information Technology*, vol. 4, no. 4, hal. 244-252, 2004.
- [18] Y. Bow, Hairul, I. Hajar, Penentuan Logam Berat secara *Anodic Stripping Voltammetry* menggunakan Elektroda Grafit Pensil in: Prosiding Seminar Nasional Forum in Research, Science, and Technology (FIRST), 2016.
- [19] R. Rusdianasari, A. Taqwa, Y. Bow, Treatment of Coal Stockpile Wastewater by Electrocoagulation Using Aluminum Electrodes, *Advanced Materials Research* vol. 896, hal. 145-148, 2014.
- [20] R. Rusdianasari, Y. Bow, T. Dewi, Peat Water Treatment by Electrocoagulation using Aluminium Electrodes, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, vol. 258 hal. 012013, 2019.