

# DEVELOPMENT OF POLYPYRROLE/GRAPHENE OXIDE GAS SENSOR FOR DETECTION OF COFFEE AROMA

Yeni Maulidah Muflihah\*, Zona Salsabila Ardyanti, Inayatul Aulia Rizka Zein, Zulfikar, Siswoyo, Asnawati, Tri Mulyono

*Sensor and Instrumentation Research Group, Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Jember*

E-mail: \*yeni.maulidah.fmipa@unej.ac.id

Received: 13 Desember 2012. Accepted: 17 Mei 2023. Published: 30 Juni 2023

DOI: 10.30870/educhemia.v8i1.18231

**Abstract:** Detecting and characterizing coffee aroma is crucial for determining the quality of coffee. While gas chromatography is the standard method, using gas sensors is a feasible alternative. The electrode material used extensively influences the response produced by the gas sensor. This study explores using composites of the conductive polymer polypyrrole (PPy) and graphene oxide (GO) as materials for gas sensor electrodes. In the study, we synthesized PPy and GO and characterized them using UV-Vis and FTIR spectrophotometry, confirming that the compounds obtained were PPy and GO. The researchers varied the composition and thickness of PPy/GO in electrode fabrication. Varying the percentage of GO in the composite by 0, 5, 10, and 15% GO resulted in different PPy/GO compositions, while electrode thicknesses observed were 0.083, 0.21, 0.39, and 60 mm. Electrode characterization, including sensitivity, conductivity, and response time, showed that the PPy/GO electrode with a composition of 15% GO and a thickness of 0.21 mm had the best response. The PPy/GO sensor was tested on the aroma of Robusta coffee from three different plantations in the Jember area, East Java. It was able to distinguish the aroma of coffee. Measurement of electrode reproducibility in measuring each sample for one month showed consistent results from week to week, with a %RSD of less than 5%. The research results demonstrate that the PPy/GO sensor with a GO composition of 15% and a thickness of 0.21 mm has excellent potential for differentiating the aroma of coffee with different compositions of constituent compounds.

**Keywords:** Conductive polymer; gas sensor; graphene oxide; coffee aroma; polypyrrole

**Abstrak:** Karakterisasi aroma kopi merupakan salah satu hal yang sangat penting untuk menentukan kualitas kopi. Disamping penggunaan gas-kromatografi sebagai metode standard, penggunaan sensor gas dalam mendeteksi dan mengkarakterisasi aroma kopi menjadi salah satu alternatif metode yang *feasible*. Faktor yang sangat mempengaruhi response yang dihasilkan pada sensor gas adalah material elektroda yang digunakan. Penelitian ini mempelajari penggunaan komposit dari polimer konduktif polipirol (PPy) dan grafena oksida (GO) sebagai material pada elektroda sensor gas. Penelitian diawali dengan melakukan sintesis PPy dan GO, serta karakterisasinya menggunakan spektrofotometri UV-

Vis dan FTIR. Hasil karakterisasi mengkonfirmasi bahwa senyawa yang didapatkan adalah PPy dan GO. Fabrikasi elektroda dilakukan dengan variasi komposisi dan ketebalan PPy/GO. Variasi komposisi ppy/GO dilakukan dengan variasi persentase GO dalam komposit sebesar 0; 5; 10; dan 15% GO. Ketebalan elektroda yang diamati adalah 0.083, 0.21, 0.39 dan 60 mm. Karakterisasi elektroda yang meliputi sensitivitas, konduktivitas dan waktu response menunjukkan bahwa elektroda PPy/GO dengan komposisi 15% GO dan ketebalan 0.21 mm merupakan elektroda yang mampu merespons paling baik. Hasil pengujian sensor ppy/GO terhadap aroma kopi robusta dari tiga kebun yang berbeda di wilayah Jember, Jawa Timur, menunjukkan bahwa sensor mampu membedakan aroma kopi. Pengukuran reproduibilitas elektroda dalam mengukur masing-masing sampel selama 1 bulan juga menunjukkan hasil yang konsisten dari minggu ke minggu, dengan %RSD kurang dari 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor PPy/GO dengan komposisi GO sebesar 15% dan ketebalan 0.21 mm sangat potensial untuk mendiferensiasi aroma kopi yang memiliki perbedaan komposisi senyawa penyusun.

**Kata kunci:** Polimer konduktiv; sensor gas; graphena oxide; aroma kopi

---

## PENDAHULUAN

Material penyusun elektroda merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi hasil pengukuran sensor gas. Material yang lazim digunakan antara lain oksida logam, polimer konduktif, logam katalik, dan optik.(Wang *et al.*, 2010) Polimer konduktif akhir-akhir ini menjadi salah satu material alternatif pembuatan sensor gas karena memiliki nilai konduktivitas dan ketahanan yang tinggi, ringan, fleksibel, tidak terpengaruh kelembaban, serta sensitivitas tinggi (Bai and Shi, 2007). Polimer konduktif yang bisa digunakan antara lain yaitu polipirol sebagai sensor gas NO<sub>2</sub> (Navale *et al.*, 2014), polianilin-ZnO sebagai sensor gas NH<sub>3</sub> (Qi *et al.*, 2014), dan politiopen- (Chiou, Wu and Lin, 2019).

Polipirol (PPy) memiliki stabilitas kimia dan nilai konduktivitas termal yang tinggi serta stabil pada lingkungan dengan suhu kamar (Stejskal *et al.*, 2016). Penggunaan PPy sebagai polimer memerlukan dopan dengan menggunakan material aktif untuk meningkatkan nilai konduktivitas. Menurut (Bhargava *et al.*, 2020), (Imamura *et al.*, 2020), penggunaan grafena oksida (GO) sebagai doping sensor gas merupakan perpaduan yang baik karena material GO memiliki luas permukaan besar dan sensitivitas tinggi akibat adanya gugus fungsi pada GO. Luas permukaan yang besar menyebabkan adsorpsi molekul gas dan interaksi dengan molekul target menjadi lebih banyak, sehingga sensitivitas sensor meningkat (Tang *et al.*, 2018) dan (Prezioso *et al.*, 2013) melaporkan bahwa penggunaan sensor gas berbasis grafena

oksida menghasilkan respon yang tinggi saat diaplikasikan dalam pengukuran senyawa volatil ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ).

Kombinasi PPy dan grafena sebagai dopan telah dilakukan oleh (Farea *et al.*, 2021) untuk mengukur gas  $\text{CO}$ . (Patil *et al.*, 2016) mengaplikasikan sensor PPy/GO untuk pengukuran gas  $\text{NH}_3$ , metana,  $\text{H}_2\text{S}$ , dan  $\text{CO}_2$ , dan Wang *et al.* (2019) menggunakan dalam pengukuran kelembaban, yang menghasilkan nilai sensitivitas tinggi. Kinerja sensor gas polimer konduktif banyak dipengaruhi oleh beberapa variabel seperti; sifat polimer yang digunakan, jenis dopan, proses polimerisasi, dan ketebalan film (Ansari, 2006), (Chang *et al.*, 2002) dan (Luo *et al.*, 2019).

Pada penelitian ini, penulis mengembangkan komposit berbasis polimer konduktif PPy/GO sebagai alternatif material elektroda untuk mendeteksi dan mendiferensiasi aroma kopi robusta di wilayah Jember, Jawa Timur. Pengaruh komposisi dan ketebalan dari komposit pada elektroda menjadi fokus dari pengembangan sensor gas ini, untuk mendapatkan komposisi dan ketebalan komposit yang optimal.

Kinerja sensor PPy/GO yang dibuat dengan metode *drop casting* ini diuji dengan paramater waktu response,

sensitivitas, repeatabilitas dan reproduibilitas dalam merespons aroma kopi robusta dari tiga perkebunan di kabupataen Jember.

## METODE

### *Bahan dan Instrumentasi*

Bahan meliputi PCB (*Printed Circuit Board*), grafit, monomer pirol 98% (Sigma Aldrich);  $\text{H}_2\text{SO}_4$  95-97% p.a,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  p.a (30%), air deionisasi,  $\text{HCl}$  p.a (37%), aseton,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , etanol 96% p.a, DMSO, dari Merck; kertas saring, gas udara kering. Instrument yang digunakan antara lain: neraca analitik, oven, *electronic nanospray*, mikrometer sekrup, *chamber* akrilik, *heater*, termometer, multimeter UNI-T-UT161E+, dan laptop yang telah terinstal *software pc* UT161E.

### *Sintesis Polipirol (PPy)*

Sintesis polimer PPy yang diadopsi dari penelitian (Ahmed, Hassan and Kamil, 2020). Sebanyak 2.0 mL pirol dilarutkan ke dalam 150 mL akuades dan diaduk selama 10 menit. Padatan  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  sebanyak 3 g ditambahkan dan diaduk kembali selama 4 jam. Endapan polimer yang terbentuk disaring dan dicuci menggunakan 50 mL etanol 90% (2x25 mL) dan 50 mL akuades (2x25 mL) hingga filtrat yang dihasilkan

tidak berwarna. Endapan dikeringkan didalam oven dengan suhu 70°C selama 6 jam.

### ***Sintesis Grafena Oksida (GO)***

Sintesis GO menggunakan metode Hummer yang diadopsi dari (Guerrero-Contreras and Caballero-Briones, 2015). Satu gram grafit ditambah dengan 0,5 g NaNO<sub>3</sub> dan 23 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer 500 mL, lalu distirrer pada suhu 0-5°C selama 5 menit, ditambahkan 3 g serbuk KMnO<sub>4</sub> secara perlahan dan distirrer kembali. Suhu campuran reaksi dipertahankan pada 5°C selama 2 jam. Suhu dinaikkan perlahan hingga 35°C dan dijaga konstan selama 30 menit. Air deionisasi 46 mL ditambahkan dan suhu dinaikkan hingga 98°C selama 30 menit. Air deionisasi 140 mL dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% sebanyak 10 ml ditambahkan kembali untuk menghentikan reaksi. Endapan GO yang terbentuk disaring dan dicuci menggunakan 200 mL HCl 5% dan 200 mL air deionisasi dengan suhu 70°C. Endapan GO murni dioven pada suhu 60°C selama 12 jam.

### ***Sintesis Polimer Konduktif PPy/GO***

Sintesis PPy/GO dilakukan dengan metode pencampuran (*blending*). Komposisi PPy/GO yang digunakan divarisi. Sejumlah 0.47; 0.78; 1,56; 4.80

dan 8.15 g PPy dimasukkan ke dalam gelas beaker 250 mL dan ditambahkan dengan 0,15 gram GO, untuk mendapatkan komposisi: 100; 0; 5; 10 dan 15% GO. Selanjutnya 100 mL larutan DMSO ditambahkan dan diaduk selama 5 jam pada suhu ruang, disaring, dan digunakan untuk analisis selanjutnya.

### ***Karakterisasi dengan spektrometer FTIR dan UV-Visible***

Karakterisasi pada hasil sintesis bertujuan untuk mengonfirmasi hasil sintesis, dengan mengkaji perubahan pergeseran panjang gelombang maksimum pada UV-Visible, dan perbedaan/perubahan gugus fungsi pada FTIR. Bilangan gelombang yang digunakan untuk FTIR adalah 500-4000 cm<sup>-1</sup>, sedangkan untuk spektrofotometer UV-Visible pada 200-400 nm.

### ***Pembuatan Elektroda***

Pola desain elektroda dibuat menggunakan perangkat lunak Auto CAD-2019, dengan masing-masing elektroda berisi 16 digit. Panjang dan lebar masing-masing digit adalah 6 mm dan 1 mm, dan jarak antara setiap dua digit adalah 0,3 mm.

Pola dicetak menggunakan print laser pada kertas HVS, kemudian dipindahkan ke permukaan tembaga melalui pelapisan kertas layout pada tembaga menggunakan lotion. Kertas yang telah dilapisi lotion

ditutup dengan plastik mika dan digosok menggunakan ring O logam selama 10 menit, hingga seluruh tinta tertempel pada permukaan tembaga PCB. PCB yang telah dilapisi kertas layout dikeringkan, dan selanjutnya direndam air. Setiap area pada permukaan lembaran tembaga PCB yang tidak tertutup karbon dihilangkan dengan *chemical etching* menggunakan perbandingan volume campuran larutan air:HCl:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (4:1:2). Karbon yang melekat pada pola elektroda digosok perlahan dengan bantuan aseton. PCB dipotong membentuk persegi panjang dengan ukuran sesuai pola yang tercetak. Larutan PPy/GO dalam DMSO diteteskan diatas PCB, dilakukan untuk semua variasi komposisi PPy/GO.

Variasi ketebalan pada film komposit dilakukan dengan variasi jumlah tetesan. Film polimer yang terbentuk dikeringkan pada oven dengan suhu 70°C selama 30 menit, dan disimpan dalam desikator. Pengukuran film polimer dilakukan dengan menghitung selisih PCB kosong dengan PCB yang telah *dicoating*.

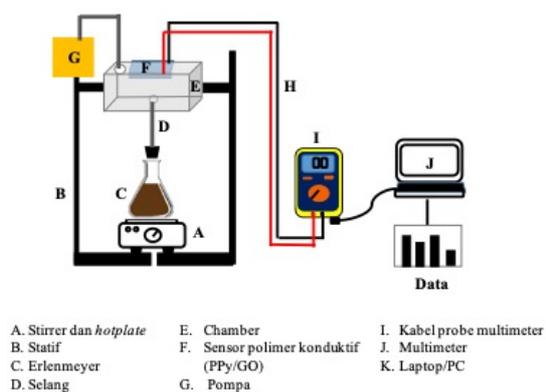
### Uji Konduktivitas Sensor PPy/GO

Konduktivitas yang didapatkan dari hasil pengukuran akan dibandingkan tiap komposisi dan ketebalan film. Pengukuran konduktivitas ini dilakukan menggunakan multimeter UNI-T. PCB

yang telah dilapisi dengan komposit PPy/GO dengan lubang pada bagian lingkaran desain, dan dimasukkan kabel probe yang sudah terhubung pada multimeter. Tombol multimeter diarahkan pada area resistansi ( $\Omega$ ). Nilai resistansi yang didapatkan dari pengukuran kemudian dikonversikan menjadi nilai konduktivitas.

### Desain Alat Ukur

Skema desain sensor dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Desain sensor polikonduktif

### Preparasi Sampel Kopi

Sampel biji kopi yang berasal dari 3 perkebunan wilayah Jember (Gumitir, Sidomulyo, Garahan) disangrai pada suhu 50-130°C selama 15 menit. Bubuk kopi yang telah disangrai dihaluskan dan diayak untuk mendapatkan ukuran kekasaran 50-60 mesh. Bubuk kopi ukuran 50-60 mesh selanjutnya disimpan didalam wadah kaca yang dilapisi dengan alumunium dan ditutup rapat.

### **Pengujian Sampel kopi**

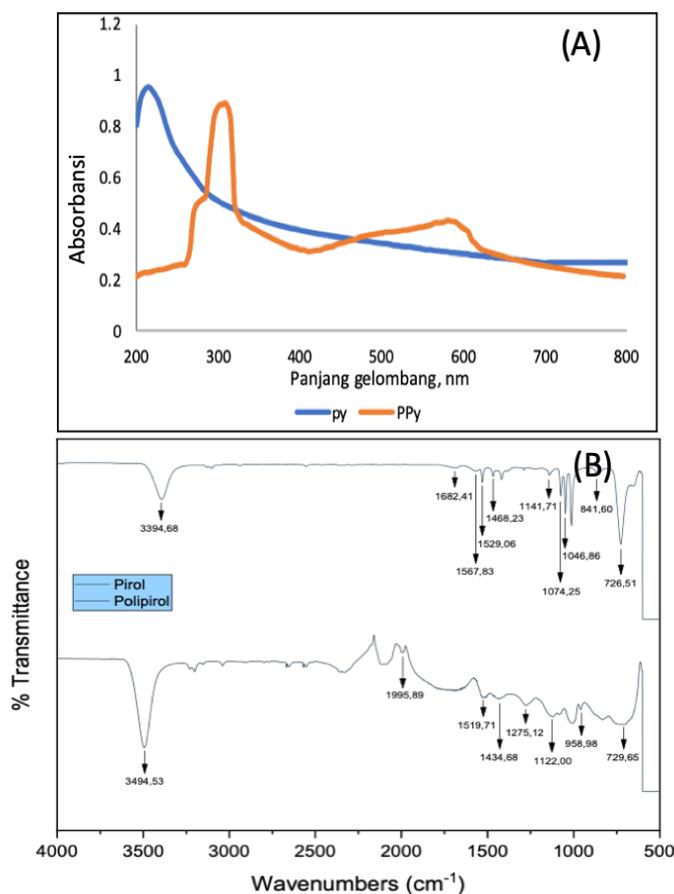
Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *baseline* uap air, sampel kopi, dan gas udara kering sebagai *flushing*. Pengukuran sampel kopi diawali dengan pengukuran uap air. Pengukuran uap air menggunakan sampel air mineral suhu 95°C. Nilai stabilitas yang didapatkan digunakan sebagai *baseline*. Selanjutnya dilakukan pengukuran aroma sampel kopi, dengan memasukkan bubuk kopi pada variasi massa bubuk kopi (0,5; 1; 2; 3; dan 4) gram ke dalam erlenmeyer dan diseduh menggunakan 45 mL air mineral suhu

95°C. Larutan kopi kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dan diidentifikasi aroma gasnya menggunakan sensor PPy/GO. *Tahap ketiga* yaitu proses *flushing* yang dilakukan dengan mengalirkan gas pembawa ke sensor setelah pengukuran sampel kopi dengan aliran gas 1L/menit.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **Karakteristik PPy dan GO Hasil Sintesis**

Konfirmasi hasil sintesis PPy dan GO dengan spektrofotometer UV-Vis dan FTIR terlihat pada Gambar 2.



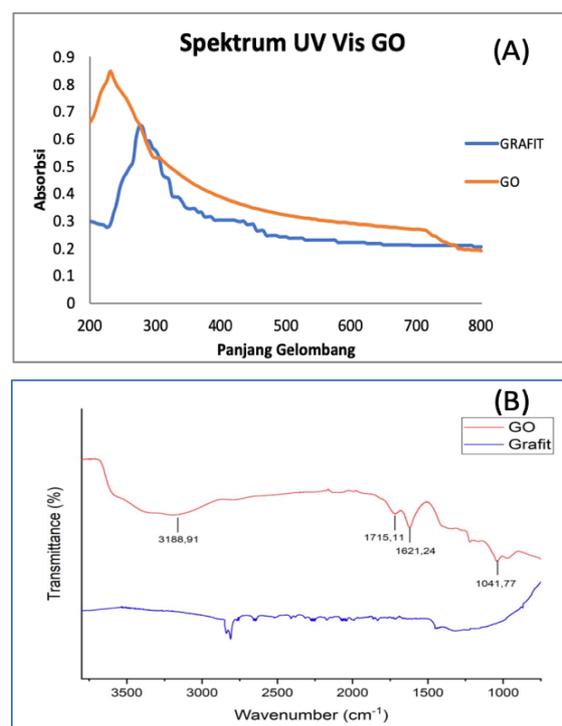
**Gambar 2.** Spektrum pirol dan polipirol: (A) UV-Visible dan (B) FTIR dari polipirol dan pirol.

Gambar 2.A mengkonfirmasi terbentuknya polimer PPy, dimana terjadi pergeseran panjang gelombang maksimum sebelum dan sesudah sintesis/polimerisasi dilakukan. Monomer pirol menunjukkan puncak panjang gelombang maksimum 205 nm yang sesuai dengan transisi  $\pi-\pi^*$  (Yang *et al.*, 2010), sedangkan polipirol yang telah disintesis menunjukkan puncak panjang gelombang maksimum 300 nm sesuai transisi  $\pi-\pi^*$  dan pada 580 nm transisi oleh  $n-\pi^*$  (Ahmed, Hassan and Kamil, 2020).

Konfirmasi menggunakan FTIR ditunjukkan pada Gambar 2.B, dimana spektrum FTIR menunjukkan terbentuknya polypirol, dengan adanya peak pada  $1519\text{ cm}^{-1}$  sebagai intra-ring C=C and vibrasi inter-ring C-C dari pyrrole ring. Puncak pada  $1434$  and  $1122\text{ cm}^{-1}$  kemungkinan =C-H vibrasi in-plane vibration minor peak dibawah  $1000$  and  $800\text{ cm}^{-1}$  kemungkinan =C-H vibrasi out-of-plane. Struktur ini terjadi sedikit pergeseran dari yang diamati oleh (Nosheen *et al.*, 2020), karena penggunaan katalis dan dopan yang berbeda.

Grafena yang digunakan dalam penelitian adalah grafena dalam bentuk oksida (grafena oksida). Dari hasil sintesis GO, didapatkan hasil yang

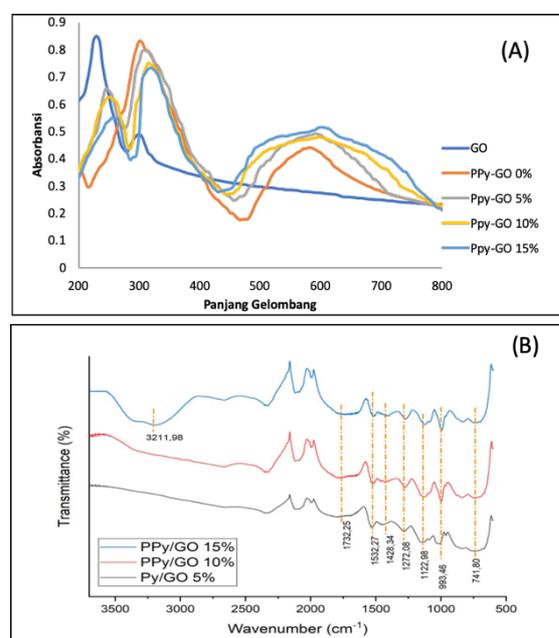
dikarakterisasi menggunakan UV dan FTIR. Gambar 3.A menunjukkan adanya perbedaan panjang gelombang maksimum, dari grafit dan sampel GO hasil sintesis. Bubuk grafit menunjukkan puncak panjang gelombang maksimum sekitar 275 nm, sedangkan GO yang telah disintesis menunjukkan puncak panjang gelombang maksimum sekitar 230 nm sesuai dengan transisi  $\pi-\pi^*$  dari ikatan C-C aromatic terkonjugasi [Rose, *et.al*, 2015]. Absorbansi yang lemah pada 305 nm disebabkan oleh transisi  $n-\pi^*$  dari C=O (Khalili, 2016).



**Gambar 3.** Spektrum grafit dan GO (A) UV-Visible dan (B) FTIR

Gambar 3.B menunjukkan adanya Puncak lebar pada daerah  $3400-3188\text{ cm}^{-1}$ , yang disebabkan adanya ikatan O-H,

yang menunjukkan keberadaan gugus hidroksil dalam GO. Puncak pada  $1715\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus karboksil. Puncak yang lancip pada  $1621\text{ cm}^{-1}$  adalah puncak resonansi, yang merujuk pada vibrasi stretching dan bending dari gugus OH molekul air yang diadsorb oleh GO. Puncak pada  $1041\text{ cm}^{-1}$  adalah vibrasi dari gugus CO. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Khalili, 2016).



Gambar 4. Spektrum PPy/GO variasi Komposisi (A) UV-Visible (B) FTIR

Perbedaan komposisi antara campuran PPy dan GO, akan menghasilkan spektrum yang identik, namun dengan perbedaan nilai transmittansnya saja, sebagaimana digambarkan di Gambar 4, baik dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis

maupun FTIR. Semakin tinggi kadar GO didalam campuran, menunjukkan nilai transmittans yang semakin tinggi. Hasil ini selanjutnya akan dihubungkan dengan pengukuran konduktivitas dari masing-masing campuran dalam analisis.

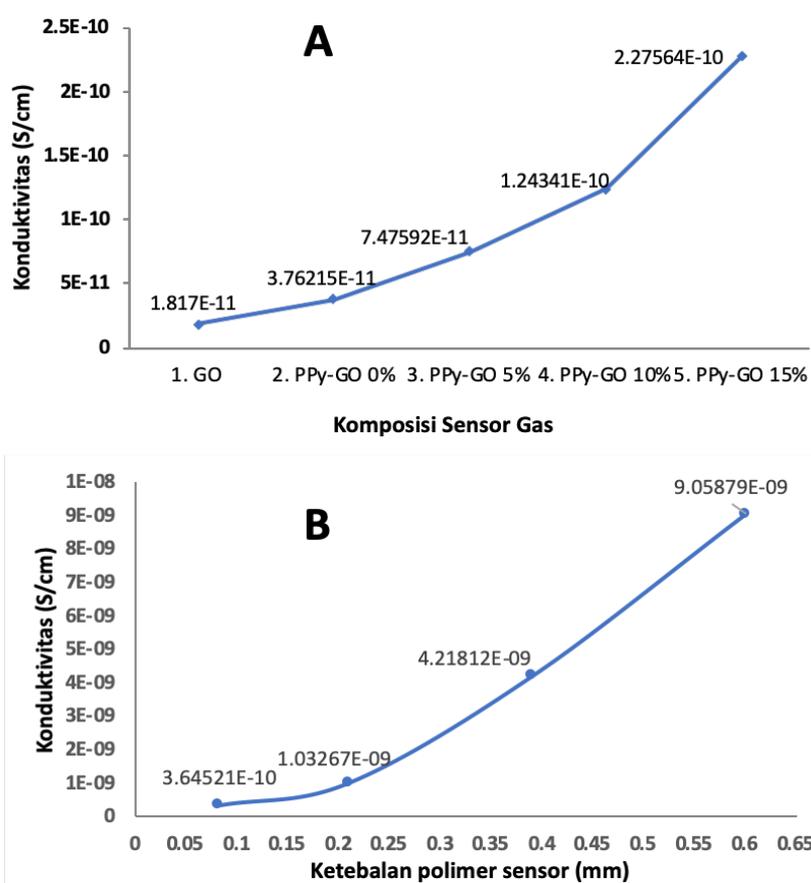
### ***Pengaruh Komposisi dan ketebalan terhadap Kinerja Sensor Polimer Konduktif PPy/GO***

Komposisi dan ketebalan dari elektroda polimer konduktif mempengaruhi respons yang dihasilkan dari suatu elektroda. Gambar 5.A menunjukkan nilai konduktivitas elektroda sensor gas dengan variasi komposisi (GO; PPy; PPy/GO 5%; PPy/GO 10% dan PPy/GO 15%). Nilai konduktivitas mengalami peningkatan dengan peningkatan konsentrasi GO. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Konwer, Boruah and Dolui, 2011). Sampel GO dan PPy menunjukkan konduktivitas rendah ( $1,82 \times 10^{-11}\text{ S/cm}$  dan  $3,76 \times 10^{-11}\text{ S/cm}$ ), sedangkan konduktivitas komposit PPy/GO meningkat signifikan dengan penambahan GO 5;10 dan 15%, secara berturut-turut didapatkan nilai konduktivitas  $7,48 \times 10^{-11}\text{ S/cm}$ ,  $1,24 \times 10^{-10}\text{ S/cm}$  dan  $2,28 \times 10^{-10}\text{ S/cm}$ .

Peningkatan konduktivitas komposit ini disebabkan adanya perpanjangan ikatan-H antara PPy dan GO yang

memungkinkan perpanjangan konjugasi- $\pi$  dalam rantai PPy, serta adanya penumpukan  $\pi$ - $\pi$  antara lembaran GO dan tulang punggung polimer. Nilai konduktivitas elektroda sensor juga berbanding lurus dengan ketebalan polimer (Gambar 5.B), dimana hasil ini

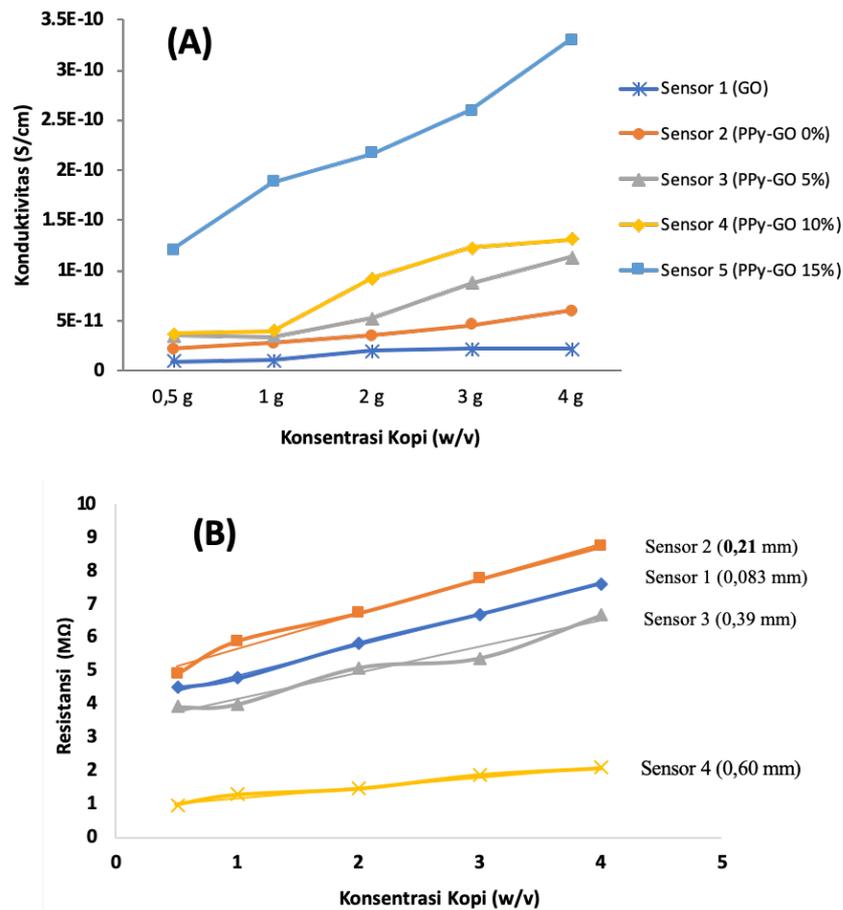
sesuai dengan penelitian yang dilakukan (Ma *et al.*, 2013) yang menyebutkan peningkatan ketebalan akan meningkatkan nilai muatan dan rasio GO (yang berperan sebagai doping) didalam lapisan tersebut.



**Gambar 5.** Pengaruh dari elektroda terhadap konduktivitas (A) variasi komposisi (B) variasi ketebalan

Gambar 6.A merupakan grafik sensitivitas sensor gas. Semakin besar konsentrasi GO, sensitivitas sensor akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena GO memiliki luas permukaan yang lebar berkisar antara 2-1000  $m^2/g$  sehingga gas yang dihasilkan mudah

teradsorpsi (Esmacili and Entezari, 2014). Menurut (Zhang *et al.*, 2020), area permukaan spesifik yang besar biasanya lebih disukai dalam aplikasi komposit polimer, penyimpanan energi, aerogel, katalis, film, penyerapan, dan pemurnian air.



**Gambar 6.** Pengaruh dari elektroda terhadap sensitifitas (A) variasi komposisi (B) variasi ketebalan

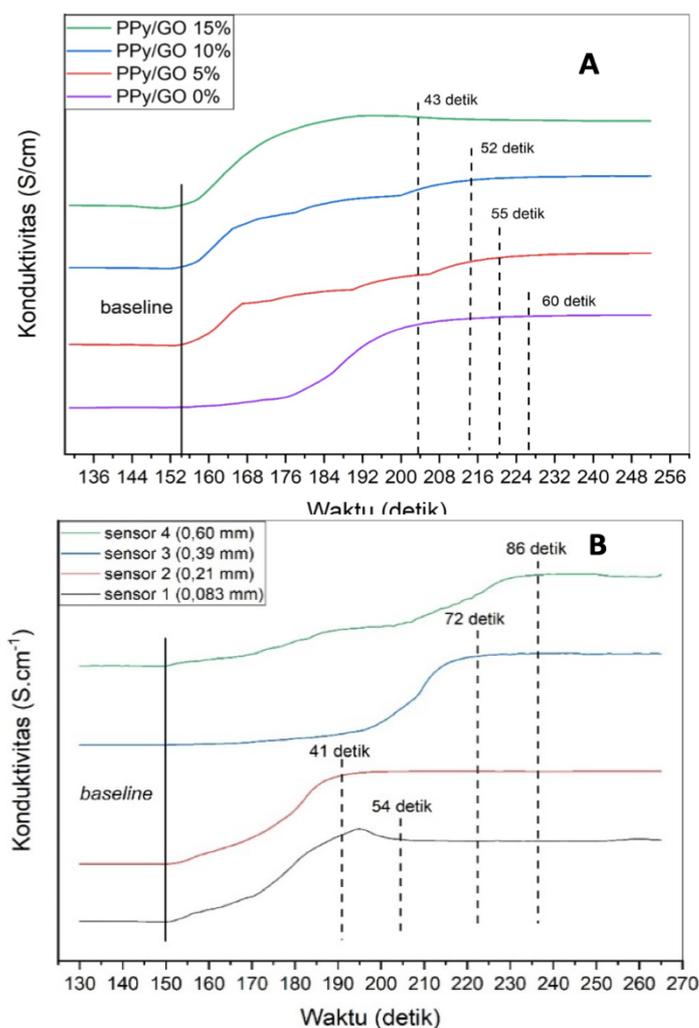
Nilai sensitivitas pada sensor variasi ketebalan ditentukan dari nilai *slope* persamaan kurva yang diperoleh dengan plotting resistansi vs konsentrasi kopi (Gambar 6.B). Nilai *slope* berbanding lurus dengan sensitivitas. Hasil pengujian 4 sensor dengan variasi ketebalan didapatkan nilai sensitivitas tertinggi hingga terendah yaitu,  $1,046 > 0,914 > 0,7813 > 0,312$  dengan ketebalan film polimer sensor berturut-turut 0,21 mm; 0,083 mm; 0,39 mm; 0,60 mm. Meningkatnya ketebalan film polimer akan berdampak pada adsorpsi gas,

semakin tebal polimer, maka adsorpsi gas akan semakin lambat dan mengurangi tingkat sensitivitas sensor. Penurunan ketebalan akan membuat film polimer menghasilkan lebih banyak arus yang mengalir, sehingga menyebabkan interaksi gas analit dengan elektron semakin banyak dan sensitivitas meningkat. Sensor gas film bekerja berdasarkan prinsip perubahan konduktivitas listrik akibat adanya adsorpsi gas di permukaannya, sehingga karakteristik *sensing* pada sensor gas bergantung pada ketebalan film polimer.

Namun, film PPy/GO dengan ketebalan rendah (0,083 mm) juga menghasilkan nilai sensitivitas yang kurang baik, hal ini sesuai dengan penelitan (Luo *et al.*, 2019), bahwa nilai ketebalan yang terlalu tipis akan menyebabkan fungsi sensor menurun dikarenakan proses adsorpsi desorpsi molekul analit pada sensor berlangsung dengan cepat sehingga respon yang dihasilkan menjadi tidak stabil. Kurangnya komposisi grafena oksida (GO) sebagai material yang sensitif juga menyebabkan respon sensor

kurang maksimal. Berdasarkan hasil pengujian 4 sensor dengan variasi ketebalan menunjukkan hasil bahwa ketebalan optimum sensor PPy/GO adalah 0,21 mm.

Sensitivitas yang dihubungkan dengan waktu respons ini dapat dilihat dari Gambar 7. Elektroda dengan komposisi PPy/GO 15% merespons pada detik ke 43 dari baseline, dan meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi GO (Gambar 7.A).



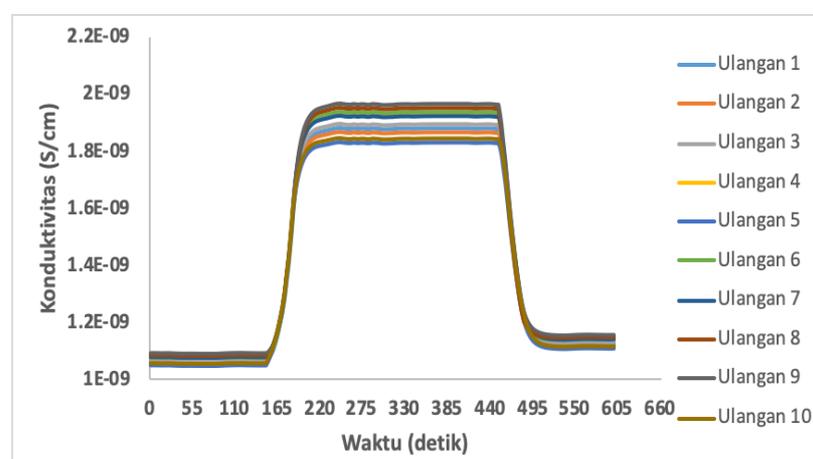
**Gambar 7.** Pengaruh dari elektroda terhadap waktu respons (A) variasi komposisi (B) variasi ketebalan

Gambar 7.B menunjukkan hubungan ketebalan dengan waktu response. Waktu respon yang dihasilkan menunjukkan bahwa sensor 1 dengan ketebalan terendah (0,083 mm) memiliki waktu respon yang cepat untuk mendapatkan respon tertinggi, namun kurang stabil. Lain halnya jika dibandingkan dengan sensor 2 (0,21 mm) menghasilkan waktu respon yang lebih cepat dan stabil dibandingkan dengan sensor 1. Waktu respon pada sensor 3 dan 4 dengan ketebalan yang meningkat membutuhkan waktu yang cukup lama dibandingkan dengan sensor 1 dan 2. Hal ini disebabkan karena semakin tebal

polimer, maka adsorpsi gas menuju elektroda semakin jauh, sehingga waktu respon yang dihasilkan juga semakin lama. Ketebalan optimum yang ditinjau dari data konduktivitas, sensitivitas, dan waktu respon adalah 0,21mm. Hubungan antara waktu respon dan sensitivitas yaitu berbanding lurus dimana nilai sensitivitas semakin besar maka waktu respon terhadap gas semakin cepat.

### ***Response elektroda terhadap Kopi dari Sidomulyo, Garhan dan Gunitir***

Pengukuran aroma kopi dilakukan dengan pengulangan 10 kali untuk setiap sample, selama  $\pm 660$  detik, seperti pada Gambar 8.



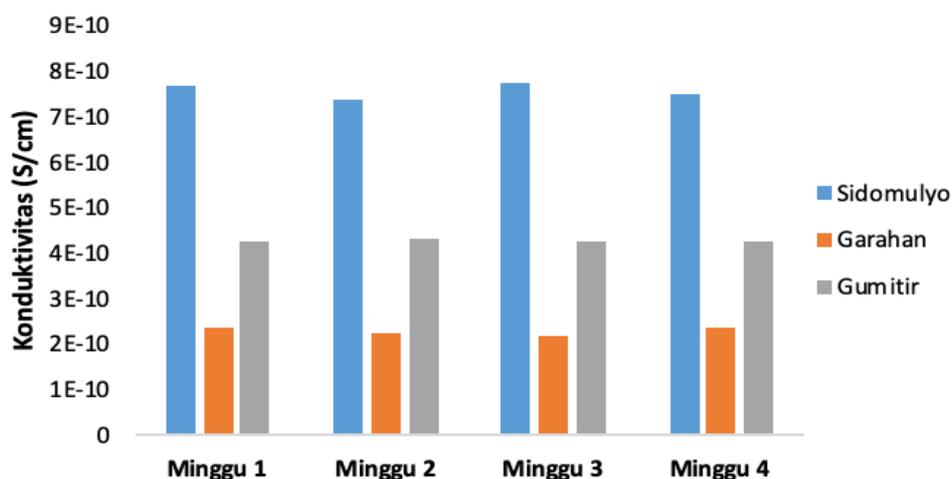
**Gambar 8.** Contoh pengukuran konduktivitas dari sample kopi

Pengukuran dilakukan selama 4 minggu, untuk mengetahui reproduibilitas pengukuran, sebagaimana pada gambar 9. Berdasarkan Gambar 9, terlihat jelas

respon sensor gas dari masing-masing sampel kopi Robusta Garahan, Gunitir, dan Sidomulyo memiliki respon yang berbeda. Perbedaan ini disebabkan karena adanya kandungan senyawa

volatil yang berbeda, asal daerah tempat tumbuh serta proses pengolahan kopinya. Menurut (Decazy *et al.*, 2003), menyatakan bahwa komponen senyawa kopi ditentukan oleh ketinggian, iklim, dan jenis tanah, yang akan mempengaruhi cita rasa kopi. Citarasa pada kopi dipengaruhi kandungan

senyawa volatil yang dimiliki dan dikeluarkan oleh kopi pada saat diseduh. Nilai %RSD (reproduktibilitas) data aroma kopi yang dihasilkan ada pada rentang 1,11%-4,75% untuk ketiga sampel kopi yang berbeda. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kinerja sensor dapat dianggap baik



**Gambar 9.** Response elektoda terhadap kopi Garahan Sidomulyo dan Gunitir dari elektroda PPy/GO 15% dengan ketebalan 0.21 mm selama 4 minggu.

## KESIMPULAN

Material polimer konduktif polipirrol dalam campurannya dengan grafena oksida (GO) berpotensi sebagai material elektroda untuk sensor aroma kopi, berdasarkan karakteristik waktu respon, reproduktibilitas, konduktivitas dan sensitifitasnya. Hasil percobaan menunjukkan komposisi PPy/GO yang optimum adalah 15%, dengan ketebalan elektroda 0.21 mm. Hasil pengujian Elektroda terhadap aroma kopi dari tiga kebun berbeda mampu merespon dan

membedakan profil aroma kopi dari kebun Garahan, Gunitir dan Sidomulyo, dengan reproduktibilitas cukup tinggi (%RSD<5%). Secara umum, hasil penelitian ini bisa dijadikan dasar untuk pengembangan sensor berbasis polimer lebih lanjut untuk mendiferensiasi aroma kopi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian (LP2M) Universitas Jember,

dan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Indonesia yang telah mendukung penelitian ini melalui Hibah

KeRis (Kelompok Riset) dengan SPK .nomor:4151/UN25.3.1/LT/20

## DAFTAR RUJUKAN

- Ahmed, F. mikdad, Hassan, S. M. and Kamil, M. I. (2020) 'The DC electrical Conductivity of prepared pure polypyrrole and polypyrrole /graphene (PPY/GN) nanocomposite by in-situ polymerization', *Iraqi Journal of Physics*, 18(44), pp. 50–61. doi: 10.30723/ijp.v18i44.500.
- Ansari, R. (2006) 'Polypyrrole Conducting Electroactive Polymers: Synthesis and Stability Studies', *E-Journal of Chemistry*, 3(4), pp. 186–201. doi: 10.1155/2006/860413.
- Bai, H. and Shi, G. (2007) 'Gas sensors based on conducting polymers', *Sensors*, 7(3), pp. 267–307. doi: 10.3390/s7030267.
- Bhargava, P. *et al.* (2020) 'Substrate comparison for polypyrrole-graphene based high-performance flexible supercapacitors', *Electrochimica Acta*. Elsevier Ltd, 358. doi: 10.1016/j.electacta.2020.136846.
- Chang, J. F. *et al.* (2002) 'The effects of thickness and operation temperature on ZnO:Al thin film CO gas sensor', *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 84(2–3), pp. 258–264. doi: 10.1016/S0925-4005(02)00034-5.
- Chiou, J. C., Wu, C. C. and Lin, T. M. (2019) 'Sensitivity enhancement of acetone gas sensor using polyethylene glycol/multi-walled carbon nanotubes composite sensing film with thermal treatment', *Polymers*, 11(3). doi: 10.3390/polym11030423.
- Decazy, F. *et al.* (2003) 'Quality of different Honduran coffees in relation to several environments', *Journal of Food Science*, 68(7), pp. 2356–2361. doi: 10.1111/j.1365-2621.2003.tb05772.x.
- Esmaeili, A. and Entezari, M. H. (2014) 'Facile and fast synthesis of graphene oxide nanosheets via bath ultrasonic irradiation', *Journal of Colloid and Interface Science*. Elsevier Inc., 432, pp. 19–25. doi: 10.1016/j.jcis.2014.06.055.
- Farea, M. A. *et al.* (2021) 'Carbon monoxide sensor based on polypyrrole–graphene oxide composite: a cost-effective approach', *Applied Physics A: Materials Science and Processing*.

- Springer Berlin Heidelberg, 127(9), pp. 1–12. doi: 10.1007/s00339-021-04837-7.
- Guerrero-Contreras, J. and Caballero-Briones, F. (2015) ‘Graphene oxide powders with different oxidation degree, prepared by synthesis variations of the Hummers method’, *Materials Chemistry and Physics*. Elsevier B.V, 153, pp. 209–220. doi: 10.1016/j.matchemphys.2015.01.005
- Imamura, G. *et al.* (2020) ‘Graphene oxide as a sensing material for gas detection based on nanomechanical sensors in the static mode’, *Chemosensors*, 8(3), pp. 1–17. doi: 10.3390/chemosensors8030082.
- Khalili, D. (2016) ‘Graphene oxide: a promising carbocatalyst for the regioselective thiocyanation of aromatic amines, phenols, anisols and enolizable ketones by hydrogen peroxide / KSCN in water Department of Chemistry, College of Sciences, Shiraz University, Shiraz 7’, *New Journal of Chemistry*, 40(3), pp. 2547–2553.
- Konwer, S., Boruah, R. and Dolui, S. K. (2011) ‘Studies on conducting polypyrrole/graphene oxide composites as supercapacitor electrode’, *Journal of Electronic Materials*, 40(11), pp. 2248–2255. doi: 10.1007/s11664-011-1749-z.
- Luo, R. *et al.* (2019) ‘A printed and flexible NO<sub>2</sub> sensor based on a solid polymer electrolyte’, *Frontiers in Chemistry*, 7(APR), pp. 1–9. doi: 10.3389/fchem.2019.00286.
- Ma, T. *et al.* (2013) ‘The composites based on plasticized starch and graphene oxide/reduced graphene oxide’, *Carbohydrate Polymers*. Elsevier Ltd., 94(1), pp. 63–70. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.01.007.
- Navale, S. T. *et al.* (2014) ‘Highly sensitive, reproducible, selective and stable CSA-polypyrrole NO<sub>2</sub> sensor’, *Synthetic Metals*. Elsevier B.V., 189, pp. 111–118. doi: 10.1016/j.synthmet.2014.01.005.
- Nosheen, S. *et al.* (2020) ‘Synthesis and Characterization of Polypyrrole Synthesized via Different Routes’, 9(06), pp. 1630–1633.
- Patil, P. *et al.* (2016) ‘Gas Sensitivity Study of Polypyrrole Decorated Graphene Oxide Thick Film’, *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*. Springer India, 97(1), pp. 47–53. doi: 10.1007/s40033-015-0085-5.
- Prezioso, S. *et al.* (2013) ‘Graphene oxide as a practical solution to high sensitivity gas sensing’, *Journal of Physical Chemistry C*, 117(20), pp.

- 10683–10690. doi: 10.1021/jp3085759.
- Qi, J. *et al.* (2014) ‘Fabrication of textile based conductometric polyaniline gas sensor’, *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 202, pp. 732–740. doi: 10.1016/j.snb.2014.05.138.
- Stejskal, J. *et al.* (2016) ‘Polypyrrole salts and bases: Superior conductivity of nanotubes and their stability towards the loss of conductivity by deprotonation’, *RSC Advances*, 6(91), pp. 88382–88391. doi: 10.1039/c6ra19461c.
- Tang, X. *et al.* (2018) ‘A Fast and Room-Temperature Operation Ammonia Sensor Based on Compound of Graphene with Polypyrrole’, *IEEE Sensors Journal*, 18(22), pp. 9088–9096. doi: 10.1109/JSEN.2018.2869203.
- Wang, C. *et al.* (2010) ‘Metal oxide gas sensors: Sensitivity and influencing factors’, *Sensors*, 10(3), pp. 2088–2106. doi: 10.3390/s100302088.
- Yang, Z. *et al.* (2010) ‘Crystallization behavior of poly( $\epsilon$ -caprolactone)/layered double hydroxide nanocomposites’, *Journal of Applied Polymer Science*, 116(5), pp. 2658–2667. doi: 10.1002/app.
- Zhang, S. *et al.* (2020) ‘Measuring the specific surface area of monolayer graphene oxide in water’, *Materials Letters*. Elsevier B.V., 261, p. 127098. doi: 10.1016/j.matlet.2019.127098.