

# PENGHASILAN MONOLAPISAN POLIANILINA MENGGUNAKAN TEKNIK PALUNG LANGMUIR BLODGETT (LB)

## **Penulis:**

Siti Amira Othman

## **Emel:**

sitiamira@uthm.edu.my

**Abstrak:** Polianilina adalah sejenis polimer yang sering digunakan dalam bidang biopengesan. Potensi penggunaannya tidak dapat dinafikan dalam bidang penyelidikan. Ini termasuklah dalam bidang pengesanan yang menggunakan sampel biologi dalam meningkatkan keberkesanan pengesan. Buku ini mengisahkan tentang pembentukan monolapisan polianilina menggunakan kaedah Langmuir blodgett, pencirian polianilina menggunakan pelbagai kaedah pencirian dan aplikasi polianilina. Diharap buku ini dapat memberi dan menjadi sumber pengetahuan kepada semua lapisan generasi.

**Kata Kunci:** Polimer, kaedah, kadar, aplikasi, keasidan

Penghasilan

# Monolapisan Polianilina

*Menggunakan Teknik*

**Palung Langmuir Blodgett (LB)**

SITI AMIRA OTHMAN

**Penghasilan**  
**Monolapisan**  
**Polianilina**  
*Menggunakan Teknik*  
**Palung Langmuir Blodgett (LB)**

**Penghasilan**  
**Monolapisan**  
**Polianilina**  
*Menggunakan Teknik*  
**Palung Langmuir Blodgett (LB)**

**SITI AMIRA OTHMAN**

  
**Penerbit**  
**UTHM**  
**2023**

© Penerbit UTHM  
Cetakan Pertama 2023

Hak cipta terpelihara. Menghasilkan semula mana-mana artikel, ilustrasi dan kandungan buku ini dalam apa jua bentuk elektronik, mekanikal fotokopi, rakaman atau apa-apa bentuk tanpa kebenaran bertulis terlebih dahulu daripada Pejabat Penerbit Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Parit Raja, Batu Pahat, Johor adalah dilarang. Mana-mana rundingan tertakluk kepada pengiraan royalti dan honorarium.

Penulis:  
Siti Amira Othman

Diterbit & dicetak oleh:  
Penerbit UTHM  
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia  
86400 Parit Raja,  
Batu Pahat, Johor  
No. Tel: 07-453 8698 / 8529  
No. Faks: 07-453 6145

Laman web: <http://penerbit.uthm.edu.my>  
E-mel: [Pemasaran.uthm@gmail.com](mailto:Pemasaran.uthm@gmail.com)  
<http://e-bookstore.uthm.edu.my>

Penerbit UTHM adalah anggota  
Majlis Penerbitan Ilmiah Malaysia  
(MAPIM)



Data Pengkatalogan-dalam-Penerbitan

Perpustakaan Negara Malaysia

Rekod katalog untuk buku ini boleh didapati  
dari Perpustakaan Negara Malaysia

ISBN 978-629-7566-03-0

# Kandungan

<i>Prakata</i>	<i>vii</i>
<i>Pendahuluan</i>	<i>ix</i>
<b>BAB 1 Palung <i>Langmuir Blodgett</i> (LB)</b>	
1.1 Pengenalan	1
1.2 Kaedah Palung <i>Langmuir Blodgett</i> (LB)	2
<b>Bab 2 Penyediaan Monolapisan Menggunakan Kaedah <i>Langmuir Blodgett</i> (LB)</b>	
2.1 Subfasa Larutan	5
2.2 Isoterma	22
2.3 Pengepakan ke Atas Substrat	25
2.4 Penghasilan Nanozarah bahan	32
<b>BAB 3 Pencirian Polianilina</b>	
3.1 Pengenalan	39
3.2 Kepelbagaian Pencirian Polianilina	39
<b>BAB 4 Aplikasi Polianilina</b>	
4.1 Pengenalan	59
4.2 Biopengesan Polianilina	60
<b>Bab 5 Kesimpulan</b>	77
<i>Bibliografi</i>	<i>79</i>
<i>Biografi Penulis</i>	<i>93</i>
<i>Indeks</i>	<i>95</i>

# PRAKATA

Polianilina adalah sejenis polimer yang sering digunakan dalam bidang biopengesan. Potensi penggunaannya tidak dapat dinafikan dalam bidang penyelidikan. Ini termasuklah dalam bidang pengesanan yang menggunakan sampel biologi dalam meningkatkan keberkesanan pengesan. Buku ini mengisahkan tentang pembentukan monolapisan polianilina menggunakan kaedah LB, pencirian polianilina menggunakan pelbagai kaedah pencirian dan aplikasi polianilina. Diharap buku ini dapat memberi dan menjadi sumber pengetahuan kepada semua lapisan generasi

**Siti Amira Othman**

# PENDAHULUAN

Pernahkah anda terfikir bagaimana sesebuah monolapisan terbentuk di atas permukaan substrat seperti kaca. Monolapisan dinyatakan seperti atom, molekul atau sel yang tersusun rapat dalam satu lapisan. Kebiasaannya melibatkan atom atau molekul bersifat hidrofilik dan hidrofobik. Hidrofilik bermaksud molekul yang cenderung tertarik dengan air, manakala hidrofobik adalah sebaliknya. Sifat-sifat sebegini adalah unik yang mana penting untuk dikaji oleh penyelidik. Apabila sesuatu bahan bertindak balas dengan bahan yang bersifat begini, ianya akan menghasilkan keputusan kajian yang tersendiri. Ini diperhebatkan lagi dengan menggunakan kaedah pembentukan lapisan yang berbeza. Dalam buku ini, kaedah LB telah digunakan bagi membentuk monolapisan polimer polianilina (PANI). PANI adalah sejenis polimer konduksi yang mempunyai sifat hidrofilik dan hidrofobik. Bab 1 menceritakan penyediaan monolapisan polianilina menggunakan kaedah LB. Ini termasuklah keperluan subfasa larutan yang sesuai untuk pembentukan monolapisan. Subfasa larutan di sini bermaksud sifat larutan sama ada berasid, beralkali atau neutral kerana ianya boleh mempengaruhi lapisan molekul yang terbentuk. Isotherma pula berkaitan dengan tekanan yang dikenakan pada permukaan berdasarkan luas molekul yang membentuk monolapisan. Melalui graf yang dihasilkan, luas monolapisan dapat ditentukan.

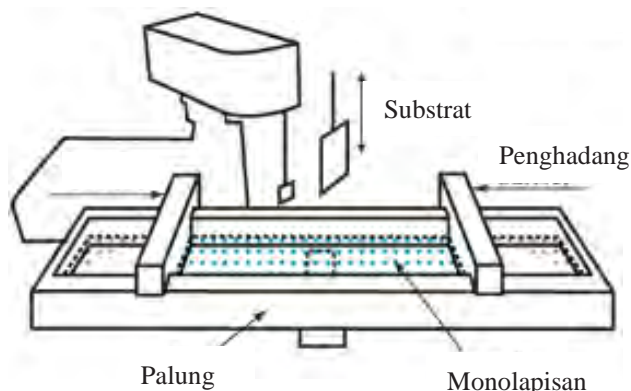


Manakala bab 2 pula berkenaan dengan alat yang boleh digunakan untuk proses pencirian PANI. Ini termasuklah Spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR), Spektroskopi *Ultraviolet-Visible* (UV-VIS.), *Scanning Electron Microscope* (SEM), voltamogram dan banyak lagi. Hasil pencirian daripada alat- alat tersebut telah dibincangkan dan dibandingkan dengan mengambil rujukan daripada penyelidik terdahulu. Di akhir bab, aplikasi PANI dapat dilihat dalam biopengesan kerana sifatnya yang konduksi memberikan hasil eksperimen yang baik terutamanya dalam pengaliran arus untuk biopengesan. Persoalan kriteria seperti (i) penggunaan kaedah yang terbaik dalam pembentukan monolapisan, (ii) pemilihan bahan yang terperinci untuk proses penganapan, (iii) pemilihan alat yang berpotensi digunakan untuk pencirian bahan dalam menghasilkan biopengesan yang baik sering menjadi topik perdebatan di kalangan penyelidik. Maka, diharap buku ini akan membantu merungkai persoalan yang diutarakan.

# PALUNG LANGMUIR BLODGETT (LB)

## 1.1 Pengenalan

Palung LB adalah peralatan makmal yang digunakan dalam penyelidikan untuk memampatkan monolapisan molekul pada permukaan subfasa yang kebiasannya adalah air. Selain itu, monolapisan tunggal atau berlapis dapat dilakukan dengan menggunakan alat ini. Bidang biopengesan telah menggunakan palung LB untuk menghasilkan lapisan filem nipis yang stabil. Contohnya, menggunakan protein atau enzim dan dimana tapak substratnya adalah polimer yang bertujuan untuk membantu dalam menghasilkan permukaan yang konduksi (Singh H. N, 1997a). Rajah 1 memaparkan komponen bagi alat palung LB.



**Rajah 1:** Komponen palung LB [27]

# PENYEDIAAN MONOLAPISAN MENGUNAKAN KAEDAH LANGMUIR BLODGETT (LB)

## 2.1 Subfasa Larutan

Air tulen selalu digunakan sebagai subfasa untuk membentuk monolapisan. Subfasa yang mempunyai tegangan permukaan yang tinggi termasuklah etilena glikol, gliserol dan merkuri.

Kebiasaannya, sebelum memulakan eksperimen, pengukuran permukaan diambil untuk menyingkirkan sebarang pencemaran daripada subfasa kerana pengenalan ion ke dalam air tulen boleh mempengaruhi ciri- ciri monolapisan yang akan dibentuk. Air yang berkualiti tinggi dan tulen perlu digunakan untuk membuat sebarang larutan. Perubahan dalam keseimbangan ionik akan mempengaruhi beberapa proses keseimbangan yang berlaku dalam subfasa. Perubahan darjah keasidan dan penambahan ion dwivalen kepada subfasa mempengaruhi kadar pembentukan monolapisan dan keberkesanan penganapan multilapisan (Sabapathy Manigandan et al., 2008a). Larutan penimbal tidak boleh digunakan untuk pembentukan filem LB kerana ia memperkenalkan bahan- bahan baru yang tidak dikenali dalam subfasa.

Pada suhu subfasa  $20.5 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$  diperhatikan bahan yang digunakan untuk membentuk monolapisan boleh membentuk dengan baik pada permukaan air. Ini disebabkan penambahan asid kapor sulfonik (CSA) dengan geometri permukaan yang besar adalah berguna untuk rantai PANI mengembang dalam pelarut dan pada permukaan air- udara. Luas purata molekul semakin meningkat disebabkan penggunaan CSA sebagai bahan dop dan juga disebabkan oleh proses penyediaan monolapisan sebagai contoh: pelarut yang berbeza mempunyai kemampuan penyebaran

# PENCIRIAN POLIANILINA

## 3.1 Pengenalan

Polianilina juga dikenali sebagai “anilina hitam”, istilah yang diguna pakai bagi apa-apa produk yang diperolehi daripada pengoksidaan anilina. Ditemui pada kurun ke 19-an, polianilina menjadi polimer konduktor yang paling banyak dikaji diikuti rapat dengan polipirol (Stejskal et al., 2010).

## 3.2 Kepelbagaian Pencirian Polianilina

Pencirian polianilina (PANI) filem yang disediakan secara elektrokimia telah menunjukkan bahawa sifat-sifat bahan-bahan tersebut bergantung kepada keadaan sintesis seperti, julat potensi, sifat semulajadi pelarut, elektrolit yang menyokong, substrat dan lain-lain. Varela et al. (2000) melakukan kajian mengenai fenomena pertukaran ionik yang berkaitan dengan PANI dalam media tidak berair (propilena karbonat (PC) dan asetonitril) dan didapati bahawa kedua-dua, kation dan anion, menyumbang kepada proses peneutralan elektron, yang berlaku dalam sistem polimer. Perubahan pada tahap protonasi PANI dikaji oleh Santiago et al. dan beliau mendapati bahawa protonasi meningkat selepas tindak balas elektrokimia dalam propilena karbonat medium yang mengandungi *thionyl chloride* dan  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$  *lithium perchlorate*. Peningkatan aras protonasi boleh dilihat dengan peningkatan puncak penyerapan pada 440 nm spektra boleh dilihat, yang mana ditugaskan dengan kehadiran radikal kation dalam polimer (Varela et al., 2000).

Kepentingan mengkaji tentang PANI yang dihasilkan dalam media bukan cecair adalah disebabkan aplikasinya dalam penghasilan bateri lithium. Tambahan pula, kecekapan kolomb adalah lebih tinggi daripada PANI yang dikaji menggunakan media cecair. Dalam hasil kerja yang lalu, adalah diperhatikan filem PANI boleh

# APLIKASI POLIANILINA

## 4.1 Pengenalan

Polimer intrinsik konduktor (ICP) adalah polimer organik yang mengalirkan elektrik (György 2008). Polimer yang digunakan setiap hari, yang lebih dikenali sebagai plastik, terdiri daripada pengulangan unit molekul mudah dipanggil monomer. Polimer mendapat namanya daripada perkataan Greek “Poli” bermaksud “banyak” dan “mer” bermaksud “bahagian”. Polimer terkenal dengan sifat-sifat penebatnya, dan ciri-ciri inilah yang telah membawa kepada penggunaan meluas polimer dalam bahagian pembungkusan dan elektronik. Konduktor polimer (CP) adalah berbeza dengan polimer penebat kerana CP boleh mengalirkan elektrik. Perkembangan meluaskan penggunaan polimer adalah sebahagian besarnya disumbangkan oleh tiga orang saintis iaitu AJ Heeger, AG MacDiarmid dan H. Shirakawa, oleh itu mereka telah menerima Hadiah Nobel dalam Kimia pada tahun 2000 untuk hasil kerja-kerja mereka terhadap poliacetilina (MacDiarmid et al., 1980). Polianilina (PANI, Anilina hitam) pertama kali digambarkan pada pertengahan abad ke-19 oleh Henry Letheby, yang mengkaji tentang produk pengoksidaan elektrokimia dan kimia anilina dalam media berasid. Beliau berkata bentuk yang dikurangkan adalah tidak berwarna tetapi bentuk teroksida adalah biru (György et al., 2008).

Polianilina (PANI) adalah polimer konduktor yang datang daripada keluarga separuh fleksibel rod polimer. Walaupun sebatian itu sendiri telah ditemui lebih 150 tahun yang lalu, namun hanya pada awal 1980an polianilina menarik perhatian komuniti saintifik. Minat ini adalah disebabkan oleh penemuan semula kekonduksian elektrik yang tinggi. Antara keluarga polimer konduktor dan semikonduktor organik, polianilina mempunyai ciri-ciri pemprosesan yang menarik. Kerana kaya dengan sifat kimianya, polianilina menjadi salah satu polimer konduktor yang paling banyak dikaji sejak 50 tahun yang

## KESIMPULAN

Polianilina adalah sejenis polimer konduksi yang banyak digunakan dalam aplikasi biopengesan. Tidak dinafikan sumbangannya telah membantu dalam perkembangan teknologi pada hari ini. Pembentukan monolapisan bergantung kepada parameter eksperimen yang digunakan contohnya bahan kimia yang digunakan, suhu dan kadar di mana monolapisan dikenakan tekanan. Adalah penting untuk mengkaji isoterma monolapisan filem sebagai pra-keperluan untuk mengkaji sifat pencelupan. Maklumat yang diperolehi boleh digunakan sebagai panduan bagi menghasilkan kestabilan dan tekanan permukaan filem yang bersesuaian. Pencirian monolapisan menggunakan alat- alat yang berbeza membuktikan monolapisan memberikan sifat unik yang dapat dijadikan rujukan oleh para penyelidik.

Buku ini bertindak sebagai platform penulisan dan sumber rujukan kepada penyelidik untuk digunakan dalam kajian melibatkan pemegunan bahan. Selain itu, penulisan buku ini disusun sedemikian bagi memudahkan pembaca menelusuri perjalanan dari kaedah sehingga kepada aplikasi. Akhir kata, semoga penulisan buku ini dapat dimanfaatkan bagi perkembangan penyelidikan secepat.

## Bibliografi

- Agbor, N.E., Cresswell, J.P., Petty, M.C. & Monkman, A.P. (1997). An optical gas sensor based on polyaniline Langmuir Blodgett films. *Journal of Sensors and Actuators B: Chemical*. 4, 137–141.
- Ajayan, P. M.,Schadler, L. S. & Braun, P. V. (2003). Nanocomposite Science and Technology, *Wiley-VCH, Weinheim*.
- Al-Ghamdi, A. & Al-Saigh, Z.Y. (2002). Surface and thermodynamic characterization of conducting polymers by inverse gas chromatography 1 Polyaniline. *Journal of Chromatography A* 969, 229- 243.
- Ando M., Swart C., Pringsheim E., Mirsky V.M. & Wolfbeis O.S. (2005). Optical ozone-sensing properties of poly (2-chloroaniline), poly(N-methylaniline) and polyaniline films. *Sensor Actuator B* 108, 528–34.
- Andreu Y., Marcos S., Castillo J.R. & Galban J. (2005). Sensor film for Vitamin C determination based on absorption properties of polyaniline. *Talanta* 65, 1045–1051.
- Arora K., Sumana G., Saxena V., Gupta R.K., Gupta S.K., Yakhmi J.V., Pandey M.K., Chand S. & Malhotra B.D. (2007). Improved performance of polyaniline-uricase biosensor. *Anal Chim Acta* 594,17–23.
- Bai, H., Chen, Q., Li, C., Lu, C. & Shi, G. (2007). Electrosynthesis of polypyrrole/sulfonated polyaniline composite films and their applications for ammonia gas sensing. *Polymer* 48(40), 15–20.
- Bangar, M.A., Shirale, D.J., Purohit, H.J., Chen, W., Myung, N.V. & Mulchandani, A. (2009). Single conducting polymer nanowire chemiresistive label free immunosensor for cancer biomarker. *Anal. Chem.* 81, 2168–2175.
- Barros, R. A., Martins, C. R. & Azevedo W. M. (2005). Writing with conducting polymer. *Synth Met* 155, 35–38.

- Baseri, J. R., Palanisamy, P. N. & Sivakumar, P. (2012). Application of Polyaniline Nano Composite for the Adsorption of Acid Dye from Aqueous Solutions. *E-Journal of Chemistry* 9(3), 1266-1275.
- Bhadraa, S., Khastgir, D., Singha, N. K. & Joong, H. L. (2009). Progress in preparation, processing and applications of polyaniline *Progress in Polymer Science* 34, 783–810.
- Bidan G. & Ehui B. (1989). One-step electrosynthesis and characterization of poly (aniline)–Nafion and poly (3-methylthiophene)–Nafion composite films. *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* 1568–1570.
- Bowman, D.; Mattes, B. R. Conductive fibre prepared from ultra-high molecularweight polyaniline for smart fabric and interactive textile applications. *Synth Met* 2005, 154, 29–32.
- Bragg, W.L. (1934). *The Crystalline State: Volume I.* New York: The Macmillan Company.
- Chen, C.W., Hua, J. & Liu, T.J. (2007). Stable Langmuir-Blodgett film deposition of polyaniline and arachidic acid. *Journal of Thin Solid Films* 515, 7299–7306.
- Chen, C.W., Hua, J. & Liu, T.J. (2007). Stable Langmuir-Blodgett film deposition of polyaniline and arachidic acid. *Journal of Thin Solid Films* 515, 7299–7306.
- Cho, M. S., Cho, Y.H., Choi, H.J. & Jhon, M. S.(2003). Synthesis. Electrorheological characteristics of polyaniline-coated poly (methyl methacrylate) microsphere: size effect. *Langmuir* 19(58), 75–81.
- Cho, M.S., Choi, H.J. & Ahn, W.S. (2004). Enhanced electrorheology of conducting polyaniline confined in MCM-41 channels. *Langmuir* 20(20), 2–7.
- Choi, H.J., Kim, T.W., Cho, M.S., Kim, S.G. & Jhon, M.S. 1997. Electrorheological characterization of polyaniline dispersions. *Eur Polym J* 33, 699–703.



- Debarnot, D.N. & Epailard, F.P. (2003). Polyaniline as a newsensitive layer for gas sensors. *Journal of Analytica Chimica Acta* 475, 1–15.
- Dhanabalan, A., Riul Jr., A. & Oliveira Jr., O. N. (1998). Composite Langmuir- Blodgett (LB) films of polyaniline and cadmium stearate. *Journal of Supramolecular Science* 5, 75-81.
- Dhanabalan, A., Riul Jr., A. & Oliveira Jr., O. N. (1998). Composite Langmuir- Blodgett (LB) films of polyaniline and cadmium stearate. *Journal of Supramolecular Science* 5, 75-81.
- Dhanabalan, A., Riul Jr., A. & Oliveira Jr., O. N. (1998). Composite Langmuir- Blodgett (LB) films of polyaniline and cadmium stearate. *Journal of Supramolecular Science* 5, 75-81.
- Dhawan, S.K., Kumar, D., Ram, M.K., Chandra, S. & Trivedi, D.C. (1997). Application of conducting polyaniline as sensor material for ammonia. *Journal of Sensors and Actuators B* 40, 99-103.
- Dixit, V., Misra, S.C.K. & Sharma, B.S. (2005). Carbon monoxide sensitivity of vacuum deposited polyaniline semiconducting thin films. *Sensor Actuator B* 104(9), 1–3.
- Doblhofer K. & Armstrong R.D. (1988). Membrane-type coatings on electrodes. *Electrochim Acta* 33, 453–460.
- Drelinkiewicz, A., Hasik, M. & Choczyski, M. (1998). Preparation and Properties of Polyaniline Containing Palladium *Mater. Res. Bull.* 33, 739.
- Echigo, Y., Asami, K., Takahashi, H., Inoue, K., Kabata, Y., Kimuraand, O. & Ohsawa, T. (1993). Ion rechargeable batteries using synthetic organic polymers *Synth. Met.* 55-57, 3611.
- Focke, W.W. & Wnek, G.E. (1988). Conduction mechanisms in polyaniline (emeraldine salt). *J. Electroanal. Chem. Interfacial Electrochem.* 256, 343–352.
- Gaponik N.P., Talapina D.V. & Rogach A.L. (1999). A light-emitting device based on a CdTe nanocrystal/polyaniline

- composite. *Phys Chem Chem Phys* 1, 1787–1789.
- Geoffrey Allen & John C. Bevington. (1996). *Comprehensive Polymer Science and Supplements*. Pergamon.
- Gerard, M., Chaubey, A. & Malhotra, B.D. (2002). Application of conducting polymers to biosensors. *Biosens. Bioelectron.* 17, 345–359.
- Ghosh, M., Barman, A., De, S.K. & Chatterjee, S. (1998). Crossover from Mott to Efros-Shklovskii variable-range-hopping conductivity in conducting polyaniline. *Synth. Met.* 97, 23–29.
- Granhölm, P., Paloheimo, J. & Stubb, H. (1997). Conducting Langmuir-Blodgett films of polyaniline: Fabrication and charge transport properties. *Journal of Synthetic Metals* 84, 783–784.
- Gvozdenović, M., Jugović, B., Jambrec, D., Stevanović, J. & Grgur, B. (2012). Application of polyaniline in corrosion protection of metals. *Scientific paper* 53.
- György, I. (2008). Chapter 1: Introduction. In Scholz, F. *Conducting Polymers: A New Era in Electrochemistry. Monographs in Electrochemistry*. Springer. 1–6.
- György, I. (2008). Chapter 8: Historical Background (Or: There Is Nothing New Under the Sun). In Scholz, F. *Conducting Polymers: A New Era in Electrochemistry. Monographs in Electrochemistry*. Springer. 265–267.
- Haiping, H., Xiaomiao, F. & Jun-Jie, Z. (2008). Synthesis, characterization and application in electrocatalysis of polyaniline/Au composite nanotubes *Nanotechnology* 19, 14.
- Heeger, A.J. (2001). Semiconducting and metallic polymers: The fourth generation of polymeric materials. *J. Phys. Chem. B* 105, 8475–8491.
- Hosoda, M., Hino, T. & Kuramoto, N. (2007). Facile preparation of conductive paint made with polyaniline/dodecylbenzenesulfonic acid dispersion and poly(methyl

- methacrylate). *Polym Int* 56, 1448–1455
- Hosseini S.H. & Entezami A. A. (2001). Preparation and characterization of polyaniline blends with polyvinyl acetate, polystyrene and polyvinyl chloride for toxic gas sensors. *Polym Advan Technol* 12, 482–493.
- Huang, W. S. & MacDiarmid, A. G. (1993). Optical properties of polyaniline. *Polymer* 34, 1833.
- Huang, W.-S., Humphrey, B.D. & MacDiarmid, A.G. (1986). Polyaniline, a novel conducting polymer. Morphology and chemistry of its oxidation and reduction in aqueous electrolytes. *J. Chem. Soc. Faraday Trans. 1* 82, 2385–2400.
- Irimia-Vladu, M. & Fergus, J. W. (2006). Suitability of emeraldine base polyaniline-PVA composite film for carbon dioxide sensing. *Synth Met.* 156 (140), 1–7.
- Jain S., Samui A.B., Patri M., Hande V.R. & Bhoraskar S.V. FEP/ polyaniline based multilayered chlorine sensor. (2005). *Sensor Actuator B* 106 (60), 9–13.
- Jianbo, L., Bong, J. P., Bijandra, K., Mickael, C., Hyoungh, J. C. & Jean-Francois, F. (2010). Polyaniline nanoparticle-carbon nanotube hybrid network vapour sensors with switchable chemo-electrical polarity *Nanotechnology* 21.
- Joshi S.S., Lokhande C.D. & Han S.H. (2007). A room temperature liquefied petroleum gas sensor based on all-electrodeposited n-CdSe/ppolyaniline junction. *Sensor Actuator B* 123, 240–245.
- Joshi, K. M. & Srivastava, V. S. (2010). Removal of hazardous textile dyes from aqueous solution by using commercial activated carbon with TiO<sub>2</sub> and ZnO as photocatalyst. *Int J Chem Tech Research* 2(1), 427 - 435.
- Juliani, L.P., Constantino, C.J.L., Botaro, V.R., Balogh, D.T., Pereira, M.R., Ticianelli, E.A., Curvelo, A.A.S. & Oliveira Jr, O.N. (1996). Langmuir-Blodgett films from lignins.

- Journal of Thin Solid Films* 284-285, 191-194.
- Juliani, L.P., Constantino, C.J.L., Botaro, V.R., Balogh, D.T., Pereira, M.R., Ticianelli, E.A., Curvelo, A.A.S. & Oliveira Jr, O.N. (1996). Langmuir-Blodgett films from lignins. *Journal of Thin Solid Films* 284-285, 191-194.
- Kan, J., Lv, R. & Zhang, S. (2004). Effect of ethanol on properties of electrochemically synthesized polyaniline. *Journal of Synthetic Metals* 145, 37- 42.
- Ki-Ho Lee, Bong Jun Park, Dong Hyun Song, In-Joo Chin & Hyoung Jin Choi. (2009). The role of acidic *m*-cresol in polyaniline doped by camphorsulfonic acid. *Polymer*. 50(18), 4372-4377.
- Kim J.S., Sohn S.O. & Huh J.S. (2005). Fabrication and sensing behavior of PVF2 coated-polyaniline sensor for volatile organic compounds. *Sensor Actuator B* 108, 409–13.
- Kobayashi, T., Yoneyama, H. & Tamura, H. (1984). Electrochemical reactions concerned with electrochromism of polyaniline film-coated electrodes. *J. Electroanal. Chem. Interfacial Electrochem.* 177, 281–291
- Lange, U., Roznyatovskaya, N.V. & Mirsky, V.M. (2008). Conducting polymers in chemical sensors and arrays. *Anal. Chim. Acta* 614, 1–26.
- Lee, I.S., Cho, M.S. & Choi, H.J. (2005). Preparation of polyaniline coated poly(methylmethacrylate) microsphere by graft polymerization and its electrorheology. *Polymer* 46(13), 17–21.
- Lee, I.S., Lee, J.Y., Sung, J.H. & Choi, H.J. (2005). Synthesis and electrorheological characteristics of polyaniline–titanium dioxide hybrid suspension. *Synth Met* 152(17), 3–6.
- Lvov, Y., Ariga, K., Ichinose, I. & Kunitake, T. (1995). Assembly of multicomponent proteins films by means of electrostatic layer-by-layer adsorption. *Journal of the American Chemical Society* 117, 6117.

- MacDiarmid A.G., Yang L.S., Huang W.S. & Humphrey B.D. (1987). Polyaniline: electrochemistry and application to rechargeable batteries. *Synth Met* 18, 393–398.
- MacDiarmid, A.G. & Epstein, A.J. (1989). Polyanilines: A novel class of conducting polymers. *Faraday Discuss. Chem. Soc.* 88, 317–332.
- MacDiarmid, A.G. & Heeger, A. J. (1980). Organic metals and semiconductors: The chemistry of polyacetylene, (CH)<sub>x</sub>, and its derivatives *Synthetic Metals*, 1, 101
- MacDiarmid, A.G. (2001). Synthetic metals: a novel role for organic polymers. *Journal of Synthetic Metals* 125, 11- 22.
- MacDiarmid, A.G. (2001). Synthetic metals: A novel role for organic polymers (Nobel lecture). *Angew. Chem. Int. Ed.* 40, 2581–2590.
- Martin, P. & Szablewski, M. (2002). *Langmuir- Blodgett Troughs. Operating Manual*. Ed. ke-6. England: Nima Technology Ltd.
- Martin, P. & Szablewski, M. (2002). *Langmuir- Blodgett Troughs. Operating Manual*. Ed. ke-6. England: Nima Technology Ltd.
- Martin, P. & Szablewski, M. (2002). *Langmuir- Blodgett Troughs. Operating Manual*. Ed. ke-6. England: Nima Technology Ltd.
- Mello, S.V., Mattoso, L.H.C., Faria, R.M. & Oliveira Jr., O.N. (1995). Effect of doping on the fabrication of Langmuir and Langmuir-Blodgett films of poly(o-ethoxyaniline). *Journal of Synthetic Metals* 71, 2039- 2040.
- Mello, S.V., Riul Jr., A., Mattoso, L.H.C., Faria, R.M. & Oliveira Jr, O.N. (1997). Protonation effects in polyaniline Langmuir films investigated by surface potential measurements. *Journal of Synthetic Metals* 84, 773-774.

- Mello, S.V., Riul Jr., A., Mattoso, L.H.C., Faria, R.M. & Oliveira Jr, O.N. (1997). Protonation effects in polyaniline Langmuir films investigated by surface potential measurements. *Journal of Synthetic Metals* 84, 773-774.
- Meng C., Liu C. & Fan S. (2009). Flexible carbon nanotube/polyaniline paper-like films and their enhanced electrochemical properties. *Electrochem. Commun.* 11,186–189.
- Motheo, A. J., Venancio, E. C. & Mattoso, L. H. C. (1998). Polyaniline synthesized in propylene carbonate medium in the presence of di- and tri-chloroacetic acids. Part I. Polymer growth studies *Electrochim. Acta* 43, 755.
- Muthukumar C., Kesarkar S.D. & Srivastava D.N. (2007). Conductometric mercury [II]; sensor based on polyaniline–cryptand-222 hybrid. *J. Electroanal Chem* 602, 172–80.
- Neoh, K. G., Pun, M. Y., Kang, E. T. & Tan, K. L. (1995). Polyaniline treated with organic acids: doping characteristics and stability *Synth. Met.* 73, 209.
- Nohria R., Khillan R.K., Su Y., Dikshit R., Lvov Y. & Varahramyan K. (2006). Humidity sensor based on ultrathin polyaniline film deposited using layer-by-layer nano-assembly. *Sensor Actuator B* 114, 218–222.
- Nunziante, P. & Pistoia, G. (1989). Factors affecting the growth of thick polyaniline films by the cyclic voltammetry technique. *Electrochim. Acta* 34, 223–228.
- Okamoto, Y. & Brenner, W. (1964). Polymers. *Organic Semiconductors* 7, 125–158.
- Olad, A. & Rashidzadeh, A. (2008). Preparation and Characterization of Polyaniline/CaCO<sub>3</sub> Composite and its Application as Anticorrosive Coating on Iron. *Iranian Journal of Chemical Engineering* 5(2) 45- 54.
- Osaka, T., Ogano, S., Naoi, K. & Oyama, N. (1989). *J. Electrochem. Soc.* 136, 306

- Osman, M. A., Atallah, A. & Suter, U. W. (2004). Influence of excessive filler coating on the tensile properties of LDPE–calcium carbonate composites, *Polym.* 45, 1177.
- Pandey, R. N. & Bapat, M. G. (1992). Behaviour of some monocarboxylic acids in propylene carbonate: a conductance study *J. Electroanal. Chem.* 325, 125.
- Pouget, J.P., Oblakowski, Z., Nogami, Y., Albouy, P.A., Laridjani, E.J., Ob, E.J., MacDiarmid, A.G., Sukamoto, J., Ishiguro, T. & Epstein, A.J. (1994). Recent structural investigations of metallic polymers. *Journal of Synthetic Metals* 65, 131-140.
- Punkka, E., Laakso, K., Stubb, H., Levon, K. & Zheng, W-Y. (1994). Electrically conducting thin films of aniline derivatives. *Journal of Thin Solid Films* 243, 515.
- Qian, C., Jie, T., Norio, S. & Lu-Chang, Q. (2013). Polyaniline modified graphene and carbon nanotube composite electrode for asymmetric supercapacitors of high energy density. *Journal of Power Sources* 241, 423-428.
- Qiao Y., Li C.M., Bao S.J. & Bao Q.L. (2007). Carbon nanotube/polyaniline composite as anode material for microbial fuel cells. *J. Power Sources* 170, 79–84.
- Ram, M.K. & Malhotra, B.D. (1996). Preparation and characterization of Langmuir-Blodgett films of polyemeraldine base. *Journal of Polymer* 37, 4809- 4813.
- Ren J., He F., Zhang L., Su C. & Liu Z. (2007). A new B-PAn-P system for the detection of bacteria population. *Sensor Actuator B* 125, 510–516.
- Riul Jr., A., Mattoso, L.H.C., Telles, G.D., Herrmann, P.S.P., Colnago, L.A., Parizotto, N.A., Baranauskas, V., Faria, R.M. & Oliveira Jr., O.N. (1996). Characterization of Langmuir-Blodgett films of parent polyaniline. *Journal of Thin Solid Films* 284-285, 177-180.

- Roberts G. (1990). *Langmuir- Blodgett Films*. New York: Plenum Press.
- Sabapathy Manigandan, Anudeep Jain, Saptarshi Majumder, Saibal Ganguly & Kajari Kagupta. (2008b). Formation of nanorods and nanoparticles of polyaniline using Langmuir-Blodgett technique: Performance study for ammonia sensor. *Journal of Sensors and Actuators B* 133, 182- 194.
- Sabapathy Manigandan, Saptarshi Majumder, Saibal Ganguly & Kajari Kargupta. (2008a). Formation of nano- rod and nano- particles of polyaniline using Langmui- Blodgett techniques. *Journal of Materials Letters* 62, 2758- 2761.
- Sacchidanand, S. S. & Jayant, A.K. (2014). A Review on Polyaniline and Its Noble Metal Composites. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 3, 2319-8753.
- Scherr, E. M., MacDiarmid, A. G., Manohar, S.K., Masters, J. G., Sun, Y. & Tang, X. (1991). Polyanilines: Oriented Films and Fibers. *Synthetic Metals*. 41, 735-738.
- Sharma, A., Sharma, A. & Sharma, R. (2010). Semiconductor Oxide Nanoparticles *NSTI-Nanotech* 3.
- Singh H. N. (1997a). *Handbook of Organic Conductive Molecules and Polymers, Vol 1*. River Street: John Wiley & Sons Ltd.
- Singh H. N. (1997b). *Handbook of Organic Conductive Molecules and Polymers, Vol 2*. River Street: John Wiley & Sons Ltd.
- Smela E., Lu W. & Mattes B.R. (2005). Polyaniline actuators Part 1. PANI (AMPS) in HCl. *Synth Met.* 151, 25–42.
- Song, E. & Choi, J. W. (2013). Conducting Polyaniline Nanowire and Its Applications in Chemiresistive Sensing *Nanomaterials* 3, 498-523
- Song, E. & Choi, J. W. (2013). Conducting Polyaniline Nanowire and Its Applications in Chemiresistive Sensing. *Nanomaterials* 3, 498-523



- Stejskal, J., Riedo, A., Hlavata, D., Prokes, J., Helmstadt, M. & Holler, P. (1998). The effect of polymerization temperature on molecular weight, crystallinity, and electrical conductivity of polyaniline *Synthetic Metals* 96, 55
- Stejskal, J., Sapurina, I. & Trchová, M. (2010). Polyaniline nanostructures and the role of aniline oligomers in their formation. *Prog. Polym. Sci.* 35, 1420–1481
- Syed A.A. & Dinesan M.K. (1990). Polyaniline: reaction stoichiometry and use as an ion-exchange polymer and acid/base indicator. *Synth Met.* 36, 209–215.
- Talaie A., Lee J.H., Lee Y.K., Jang J., Romagnoli J.A., Taguchi T. & Maeder E.. (2000). Dynamic sensing using intelligent composite: an investigation to development of new pH sensors and electrochromic devices. *Thin Solid Films* 363, 163–166.
- Tallman, D. E., Springs, G., Dominis, A. & Wallace, G. G. (2002). Electroactive conducting polymers for corrosion control. *J. Solid State Electrochem.* 6, 85.
- Tan, C.K. & Blackwood, D.J. (2000). Interaction between polyaniline and methanol vapour. *Journal of Sensor and Actuator B* 71, 184- 191.
- Troitsky, V.I., Berzina, T.S. & Fontana, M.P. (2002). Langmuir Blodgett assemblies with patterned conductive polyaniline layers. *Journal of Materials science and engineering C* 22, 239-244.
- Troitsky, V.I., Berzina, T.S. & Fontana, M.P. (2002). Langmuir Blodgett assemblies with patterned conductive polyaniline layers. *Journal of Materials science and engineering C* 22, 239-244.
- Tseng R.J., Huang J., Ouyang J., Kaner R.B., Yang Y. (2005). Polyaniline nanofiber/gold nanoparticle nonvolatile memory. *Nano Lett.* 5, 1077–1080.

- Varela, H. & Torresi, R. M. (2000). Ionic exchange phenomena related to the redox processes of polyaniline in nonaqueous media *J. Electrochem. Soc.* 147, 665.
- Venancio, E. C., Mattoso, L. H. C. & Motheo, A. J. (2001). Characteristics of polyaniline electrosynthesized in propylene carbonate medium in the presence of di- and trichloroacetic acids. *J. Braz. Chem. Soc.* 4, 526-531.
- Venancio, E. C., Motheo, A. J., Amaral, F. A. & Bocchi, N. (2001). Performance of polyaniline electrosynthesized in the presence of trichloroacetic acid as a battery cathode *J. Power Sources* 94, 36.
- Vera, G., Aleksandra, V. & Marana, S. (2005). Efficiency of the Coagulation / Flocculation Method for the Treatment of Dye Bath Effluents. *Dyes and Pigments* 67, 93 - 97.
- Virgi, S., Kanet, R.B. & Weiller, B.H. (2006). Direct Electrical Measurement of the Conversion of Metal Acetates to Metal Sulfides by Hydrogen Sulfide. *Journal of Inorganic Chemistry* 45, 10467- 10471.
- Wallace, G.G., Dastoor, P.C., Officer, D.L. & Too, C.O. (2000). Conjugated polymers: new materials for photovoltaics. *Journal of Chemical Innovation* 30, 14–22.
- Wang, J., Bunimovich, Y.L., Sui, G., Savvas, S., Wang, J., Guo, Y., Heath, J.R. & Tseng, H.-R. (2006). Electrochemical fabrication of conducting polymer nanowires in an integrated microfluidic system. *Chem. Commun.* 29, 3075–3077
- Wei, Y., Jang, G. W., Hsueh, K. F., Scherr, E. M., MacDiarmid, A. G. & Epstein, A. J. (1992). Thermal transitions and mechanical properties of films of chemically prepared polyaniline *Polymer* 33, 314
- Wise, D. L., Wnek, G. E., Trantolo, D. J., Cooper, T. M. & Gresser, J. D. (1997). Electrical and optical polymer systems. *New York: Marcel Dekker* 23.

- Yan, X.B., Han, Z.J., Yang, Y. & Tay, B.K. (2007). NO<sub>2</sub> gas sensing with polyaniline nanofibers synthesized by a facile aqueous/organic interfacial polymerisation. *Sensor Actuator B* 123(10), 7–13.
- Yilamz, F. (2007). Polyaniline: synthesis, characterization, solution properties and composites. [Ph.D. - Doctoral Program]. Middle East Technical University.
- Yonezawa, S., Kanamura, K. & Takehara, Z.J. (1993). Discharge and Charge Characteristics of Polyaniline Prepared by Electropolymerization of Aniline in Nonaqueous Solvent *Electrochem. Soc.* 140, 629.
- Yoshioka, Y. & Jabbour, G. E. (2006). Desktop inkjet printer as a tool to print conducting polymers. *Synth Met* 156, 779–83
- Yuan R., Liu Y., Yuan H., Wang Y., Zheng X., Xu J. & Shen X. (1993). Study of photoelectric characteristics of p-PAN/n-Si junction. *Synth Met* 57, 4087–4092.
- Zhang, X., Goux, W.J. & Manohar, S.K. (2004). Synthesis of Polyaniline Nanofibers by “Nanofiber Seeding”. *Journal of American Chemical Society* 126, 4502–4503.
- Zhou, S., Tao Wu & Jinqing Kan. (2007). Effect of methanol on morphology of polyaniline. *Journal of European Polymer* 43, 395- 402.
- Zou Y., Sun L. & Xu F. (2007). Prussian Blue electrodeposited on MWNTs-PANI hybrid composites for H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> detection. *Talanta* 72, 437–442.
- Zuo, F., McCall, R. P., Ginder, J. M., Roe, M. G., Epstein, A. J., Asturias, G. E., Ermer, S. P., Ray, A. & MacDiarmid, A. G. (1989). Solution studies of the emeraldine oxidation state of polyaniline *Synth. Met.* 29, 445.

## Biografi Penulis



Penulis adalah lepasan graduan daripada Universiti Kebangsaan Malaysia. Semasa pengajian peringkat Doktor Falsafah, penulis terlibat dengan kajian yang bertajuk elektroenanapan enzim ke atas monolapisan polimer menggunakan kaedah pemegunan. Beberapa kaedah telah digunakan dan antaranya adalah kaedah langmuir blodgett dan lapis demi lapis. Hasil daripada kajian tersebut telah diterbitkan di beberapa journal berimpak. Malah, penulisan dalam buku ini tercetus daripada kajian tersebut Tidak dinafikan, seiring dengan kemajuan bahan berteknologi tinggi, banyak kajian baru muncul seperti cendawan selepas hujan. Rentetan itu, penulis merasakan hasil penulisan ini perlu dikongsikan bersama kalangan penyelidik yang lain supaya dapat memberikan pengetahuan, panduan, galakan serta motivasi dalam meneroka kaedah yang dinyatakan. Justeru, ini dapat membuka peluang baru kepada penyelidik dalam mempelbagaikan penyelidikan yang sedia ada atau pun yang akan datang. Ketika ini, penulis adalah salah seorang pensyarah di Jabatan Fizik dan Kimia, Fakulti Sains Gunaan dan Teknologi, Universiti Tun Hussein Malaysia. Penulis percaya, melalui penulisan, ilmu dapat dikembangkan dan seterusnya menjadi manfaat kepada yang mengaplikasikannya.