



EKPLORASI GRAFIN-PERAK

**Kekonduksian Berhaba Tinggi
untuk Dakwat Konduktif**

MOHD AZLI SALIM
AMEERUZ KAMAL AB WAHID
MOHD ZAID AKOP

© Universiti Teknikal Malaysia Melaka

ISBN: 978-629-7741-83-3

CETAKAN PERTAMA 2025

Hak cipta terpelihara. Tiada bahagian daripada terbitan ini boleh diterbitkan semula, disimpan untuk pengeluaran atau ditukarkan dalam sebarang bentuk menggunakan sebarang alat sama ada dengan cara elektronik, gambar serta rakaman dan sebagainya tanpa kebenaran bertulis daripada pihak Penerbit UTeM Press, Universiti Teknikal Malaysia Melaka.

Ahli Majlis Penerbitan Ilmiah Malaysia (MAPIM)
Ahli Persatuan Penerbit Buku Malaysia (MABOPA)
Ahli Clarivate Analytics

Penyunting dan Pembaca Pruf

Nor Azmmi Masripan

Editor Naskhah

Rahizah Abdul Rahman

Pereka Kulit dan Pengatur Huruf

Ahmad Masmuliyadi Mohd Yusof

Diterbitkan dan Dicetak di Malaysia oleh

Penerbit UTeM Press

Universiti Teknikal Malaysia Melaka

Hang Tuah Jaya, 76100 Durian Tunggal, Melaka, Malaysia.

Phone: +606 270 1241 Fax: +606 270 1038



Data Pengkatalogan-dalam-Penerbitan

Perpustakaan Negara Malaysia

Rekod katalog untuk buku ini boleh didapati
dari Perpustakaan Negara Malaysia

ISBN 978-629-7741-83-3

Prakata	ix
Penghargaan	xi
Senarai Singkatan.....	xiii
Senarai Simbol	xv

Bab 1: Pengenalan kepada Dakwat Konduktif	1
1.1 Asal Usul Dakwat Konduktif.....	1
1.2 Bahan Dakwat Konduktif	4
1.3 Aplikasi Dakwat Konduktif	6

Bab 2: Pembangunan untuk Pelekat Acuan di dalam

Bidang Nano-Elektronik	11
2.1 Dakwat Konduktif Sebagai Pelekat Acuan	11
2.2 Ciri-Ciri Asas Dakwat Konduktif Berasaskan Grafin.....	12
2.3 Kos Pembangunan	13
2.4 Tumpuan Utama Pembangunan Dakwat Konduktif.....	14
2.5 Potensi Utama Dakwat Konduktif	15
2.6 Penggunaan di dalam Sektor Industri	17

Bab 3: Komponen Asas di dalam Dakwat Konduktif.....

3.1 Pengenalan	19
3.2 Pembangunan Dakwat Konduktif.....	19
3.3 Konduktor Boleh Renggang (Fleksibiliti).....	24
3.4 Bahan Grafin	27
3.5 Dakwat Konduktif Kepingan Grafin/Epoksi	31
3.6 Pengikat Polimer	31
3.7 Proses Pencampuran	33
3.7.1 Larutan Pencampuran.....	34
3.7.2 Pencampuran Ricih Tinggi	35
3.8 Proses Pencetakan.....	36
3.8.1 Pencetakan Secara Inkjet.....	37
3.8.2 Percetakan Secara Skrin	39
3.8.3 Teknik Percetakan Lain	40
3.9 Proses Pengawetan	41

Bab 4: Pencirian dan Sifat-Sifat Utama.....	43
4.1 Pencirian Dakwat Konduktif.....	43
4.2 Sifat Elektrik.....	43
4.3 Sifat Mekanikal	45
4.4 Sifat Haba	47
4.5 Analisis Unsur Terhingga (FEA) Dakwat Pengalir	49
4.6 Perbezaan Pendapat Berkaitan Dakwat Konduktif.....	50
4.7 Potensi Kebolehsuaian Dakwat Konduktif	53
 Bab 5 : Pembangunan dan Kebolehcapaian Dakwat Konduktif.....	55
5.1 Pendahuluan.....	55
5.2 Penggunaan Bahan Mentah.....	56
5.2.1 Serbuk Grafin.....	56
5.2.2 Resin Epoksi	57
5.2.3 Bahan Pengeras	57
5.2.4 Kepingan Perak (Ag).....	58
5.2.5 Kepingan Perak Asetat (SA)	59
5.2.6 Cecair 1-Butanol.....	60
5.2.7 Cecair Terpeneol	61
5.2.8 Cecair Alkohol Penyahabii (Ethanol 99%)	61
5.2.9 Slaid kaca	62
5.2.10 Substratum-Kuprum	63
5.3 Penyediaan Sampel.....	63
5.3.1 Perumusan Pembangunan Garis Dasar GNP	64
5.3.2 Penyediaan Sampel Garis Dasar GNP	66
5.3.3 Masa Pengawetan Sampel Garis Dasar GNP.....	67
5.3.4 Masa Pengawetan yang Berbeza Pada Garis Dasar GNP	68
5.3.5 Pembangunan Dakwat Konduktif Hibrid GNP	70
5.3.6 Penyediaan Sampel Hibrid GNP	71
5.4 Pencirian Sampel.....	72
5.5 Pengukuran Kerintangan Menggunakan Kuar Empat-Mata	73

Bab 6: Pengujian Dakwat Konduktif	81
6.1 Ujian Kekerasan	81
6.2 Ujikaji Tegasan Ricih.....	85
6.3 Pencirian Kekonduksian Haba.....	89
6.4 Ujian Kebolehpercayaan	94
6.5 Ujian Piuhan	95
6.6 Ujian Melentur.....	97
6.7 Ujian Morfologi	98
6.7.1 Ujian Permukaan Menggunakan SEM dan EDX	98
6.7.2 Ujian Menggunakan Mikroskop Cahaya Optik	103
 Bab 7: Analisis Unsur Terhingga Dakwat Konduktif	 105
7.1 Pemodelan.....	105
7.2 Kaedah Unsur Terhingga.....	106
7.2.1 Corak Regangan.....	106
7.2.2 Regangan Pada Bahan Konduktif Yang Berbeza.....	109
7.2.3 Regangan pada Ketebalan yang Berbeza	112
7.3 Kekonduksian Haba Bahan Pelekat Acuan	
Menggunakan FEA	114
7.3.1 Tatarajah Model.....	114
7.3.2 Model Jejaring Pelekat Acuan yang Direka Bentuk.....	115
7.3.3 Syarat Sempadan.....	116
7.3.4 Parameter Bersandar dan Bebas	118
7.3.5 Ciri-ciri Bahan Pelekat Acuan	120
7.3.6 Perbandingan Kekonduksian Haba	121
7.3.7 Haba Fana Bagi Bahan Acuan Pelekat Yang Berbeza ...	123
7.4 Rumusan	126

Bab 8: Hasil Dapatan dan Keputusan Ujian Dakwat Konduktif.....	129
8.1 Pengenalan	129
8.2 Ciri-ciri Garis Dasar GNP	130
8.2.1 Pencirian Kerintangan dengan Pelbagai wt.% Garis Dasar GNP	130
8.2.2 Kesan Masa Pengawetan yang Berbeza.....	133
8.2.3 Pencirian Mekanikal Pelbagai wt.% Garis Dasar GNP	134
8.2.4 Pencirian Mekanikal pada Pelbagai Masa Pengawetan.....	141
8.3 Keputusan Morfologi Garis Dasar GNP	147
8.3.1 Analisis SEM bagi Garis Dasar GNP.....	147
8.3.2 Analisis EDX untuk Mengesahkan Imej SEM Garis Dasar GNP	148
8.4 Ringkasan Penggubalan Garis Dasar GNP	151
8.5 Pencirian Formulasi Hibrid GNP	152
8.5.1 Ciri-ciri Elektrik Hibrid GNP	152
8.5.2 Ujian Tegasan Ricih Hibrid GNP.....	155
8.5.3 Kekonduksian Haba Hibrid GNP	157
8.6 Pengesahan Analisis Eksperimen dan Simulasi	162
8.6.1 Kesan Lenturan pada Kebolehpercayaan Dakwat Konduktif	162
8.6.2 Kesan Piuhan pada Kebolehpercayaan Dakwat Konduktif	166
8.6.3 Analisis Simulasi Kekonduksian Haba	170
8.7 Pemerhatian Morfologi Permukaan Hibrid GNP	174
8.7.1 Analisis Cerapan Imej SEM Bagi Hibrid GNP	174
8.7.2 Analisis EDX Untuk Mengesahkan Imej SEM Hibrid GNP.....	177
8.8 Perbandingan Hibrid GNP dengan Ciri Garis Dasar GNP	180
8.9 Ringkasan Hibrid GNP	181

Bab 9: Analisis Unsur Terhingga dengan Ujian Fizikal	183
9.1 Analisis Unsur Terhingga (FEA) pada Perumusan	
Garis Dasar GNP	183
9.2 Menentukan Kebolehgangan Optimum Corak	
Garis Dasar GNP	183
9.3 Kebolehgangan Bahan yang Berbeza	191
9.4 Kesan Ketebalan yang Berbeza untuk Kebolehgangan	
Garis Dasar GNP	200
9.5 Analisis FEA ke Atas Pelekat Acuan Sebagai Bahan	
Dakwat Pengalir.....	210
 Bab 10: Kesimpulan dan Cabaran Masa Hadapan	 225
10.1 Kesimpulan.....	225
10.2 Sumbangan Ilmu Sains Kepada Industri Nano-Elektronik...	228
10.3 Cabaran Masa Hadapan	228
 Rujukan.....	 231
Indeks.....	251

EKPLORASI GRAFIN-PERAK

Kekonduksian Berhaba Tinggi untuk Dakwat Konduktif

Elektronik fleksibel telah menjadi sangat diperlukan untuk pelbagai aplikasi kerana kosnya yang rendah, ciri yang ringan dan fleksibiliti. Walau bagaimanapun, salah satu cabaran dalam membangunkan elektronik yang fleksibel adalah bergantung kepada formulasi bahan dakwat yang sesuai. Kepingan grafin (GNP) sememangnya disusun bersama kerana interaksi Van der Waals yang kuat antara lapisan-lapisannya. Perak adalah bahan logam yang paling popular kerana kekonduksian elektrik yang sangat baik dan mempunyai kestabilan kimia. Buku ini bertujuan untuk mengkaji ciri-ciri dan aplikasi dakwat konduktif grafin dan perak yang dicampur dengan pelarut organik, mempunyai kerintangan rendah, kelenturan tinggi, dan kekonduksian haba yang tinggi.



MOHD AZLI SALIM, Prof. Madya Ir. Ts. Dr., merupakan pensyarah di dalam bidang Kejuruteraan Mekanikal di Fakulti Teknologi dan Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknikal Malaysia Melaka. Selain itu, beliau juga merupakan *Chartered Engineer* yang dianugerahkan oleh *The Institution of Mechanical Engineers (IMechE)* dan *Engineering Council* yang berpengkalan di United Kingdom. Beliau juga merupakan pemegang Sijil Professional TRIZ tahap 3 dan Sijil Pengajar TRIZ Master Class, Tahap 1 dan 2. Sehingga kini, beliau menyelia seramai 13 orang pelajar Doktor Falsafah, 15 orang pelajar Sarjana dan lebih 35 pelajar Sarjana Muda, di mana ke semua bidang penyelidikan adalah berasaskan kepada Fleksibiliti Nano-Elektronik.



AMEERUZ KAMAL AB WAHID, Dr., merupakan Ketua Program Kejuruteraan Mekatronik di Jabatan Kejuruteraan Mekanikal, Politeknik Sultan Azlan Shah. Bidang pengkhususan Dr. Ameeruz semasa menyambung pengajian pada peringkat Doktor Falsafah adalah nanoteknologi. Selain itu, Dr. Ameeruz juga pemegang Ijazah Sarjana di dalam pengkhususan MBA.



MOHD ZAID AKOP, Ir. Ts. Dr. mempunyai kelulusan Ijazah sarjana muda dalam bidang Kejuruteraan Mekanikal dan Bahan pada tahun 2001 dari Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), Bangi, Selangor. Selanjutnya beliau mulakan kerjaya sebagai seorang Jurutera Mekanikal di syarikat Kejuruteraan PEREMBA selama 5 tahun dan jawatan terakhir beliau adalah Jurutera Kanan bagi jabatan projek dan penyelenggaraan, minyak dan gas. Beliau mempunyai pengalaman di dalam projek minyak dan gas. Pada tahun 2005, beliau menyertai Kolej Universiti Teknikal Kebangsaan Malaysia (KUTeM), Melaka selaku Jurutera Pengajar di Fakulti Kejuruteraan Mekanikal. Selepas itu, beliau menerima Ijazah sarjana (MSc) di Universiti Coventry, UK pada tahun 2007 dan PhD dalam bidang Kejuruteraan Sistem Mekanikal dari Universiti Gunma, Japan pada tahun 2014. Bidang penyelidikan yang beliau minati adalah semburan/pelepasan/pendapan diesel; tenaga suria/boleh diperbaharui; HVAC dan Teknologi Automotif.



PENERBIT
UTeM
Press

Laman Sesawang : <https://penerbit.utm.edu.my>
Kedai Buku Dalam Talian : <https://utembooks.utm.edu.my>
Emel : penerbit@utm.edu.my

ISBN 978-629-7741-83-3



07000