

PAM MIKRO

TEKNOLOGI MODEN

**KEJURUTERAAN
PERUBATAN**

NORIHAN ABDUL HAMID
BURHANUDDIN YEOP MAJLIS
JUMRIL YUNAS

© Universiti Teknikal Malaysia Melaka

ISBN: 978-629-7741-26-0

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

PERPUSTAKAAN Universiti Teknikal Malaysia Melaka	
No. Aksesan 87519713	Penyunting dan Pembaca Pruf Muzalifah binti Mohd Said 248 25 054
Tarikh 07 APR 2026	Editor Naskhah Rahizah Abdul Rahman 116 3035 Pereka Kulit dan Pengatur Huruf Norhayati Yakob nrd/080426

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 978-629-7741-26-0

ISI KANDUNGAN



Dedikasi	v
Prakata	xi
Penghargaan	xiii
Singkatan	xv
BAB 1 : PENGENALAN	1
Teknologi MEMS	1
Perkembangan Teknologi MEMS	2
BioMEMS	4
Bendalir mikro	6
Pam mikro	8
Pam mikro dan perkembangan bioMEMS	11
BAB 2: PAM MIKRO DAN TEKNOLOGI MEMS	15
Pengenalan	15
Evolusi dan perkembangan pam mikro	15
Klasifikasi pam mikro	17
Evolusi pam mikro terma pneumatik	18

Penggunaan teknologi MEMS dalam fabrikasi pam mikro.....	22
Teknologi fabrikasi pam mikro terma pneumatik	24
Teknologi mikromesin pukal.....	25
Teknologi mikromesin permukaan.....	27
Litografi lembut.....	30
Reka bentuk pam mikro terma pneumatik	33
Bahan berunsur silikon.....	33
Bahan berunsur polimer.....	35
BAB 3: PAM MIKRO TERMA PNEUMATIK.....	41
Pengenalan	41
Prinsip dan operasi kendalian.....	42
Penjanaan tenaga terma	43
Konsep pengembangan terma.....	45
Penjanaan tenaga terma oleh logam filem nipis	47
Pemindahan tenaga terma.....	48
Prinsip terma pneumatik dalam ruang vakum.....	50
Sifat mekanik dan struktur membran filem nipis.....	53
Sifat kelengkungan dan pesongan plat.....	54
Kesan terikan dan tegasan terma terhadap pesongan plat membran.....	58
Penggunaan kaedah Ritz dalam pesongan plat membran.....	60
Bendalir mikro.....	64
Injap satah peresap muncung.....	69
Kecekapan pengaliran bendalir pada injap peresap muncung	73
BAB 4 : REKA BENTUK PAM MIKRO	75
Sistem pam mikro terma pneumatik.....	75
Reka bentuk pam mikro terma pneumatik	79
Pemanas mikro	79
Membran filem nipis.....	85
Saluran injap mikro.....	87

Simulasi reka bentuk pemanas mikro.....	91
Prinsip dan pertimbangan bentuk geometri	91
Kesan bahan terhadap penjana tenaga terma	92
Ketebalan logam dan voltan masukan.....	94
Analisa penyelesaian	96
Simulasi reka bentuk membran filem nipis	97
Kesan bentuk geometri terhadap pesongan membran.....	98
Luas permukaan dan pesongan membran	100
Pemilihan bahan dan pesongan membran	101
Tebal membran dan pesongan.....	103
Kesan tekanan terma terhadap membran.....	105
Analisa penyelesaian	106
BAB 5 : PROSES FABRIKASI DAN PENCIRIAN.....	109
Pengenalan	109
Proses fabrikasi dan pencirian pemanas mikro.....	109
Pembersihan bahan substrat	111
Pemindahan reka bentuk	112
Pemendapan logam.....	116
Pengangkatan logam.....	118
Penyepuhlindungan	121
Proses fabrikasi dan pencirian membran filem nipis	123
Penyediaan bahan substrat	125
Pemindahan reka bentuk	126
Punaran basah.....	128
Pemendapan polimid.....	134
Proses fabrikasi dan pencirian injap mikro	136
SU8 sebagai acuan injap peresap muncung	137
PDMS sebagai injap satah peresap muncung	140
Proses penggabungan keseluruhan sistem pam	143
Pemanas mikro dan membran filem nipis.....	144

Injap peresap muncung, membran filem nipis dan pemanas mikro	146
BAB 6 : PENGUKURAN DAN PENGUJIAN PRESTASI PAM ...	151
Pengenalan	151
Pemanas mikro	152
Kesan penyepuhlindungan	155
Nilai rintangan terhadap ketebalan logam.....	157
Kesan pemendapan kromium	157
Ujian kefungsiian dan suhu	158
Membran filem nipis	164
Injap satah peresap muncung	170
Keseluruhan pam mikro	171
BAB 7 : PAM MIKRO DAN POTENSI MASA DEPAN	179
Pengenalan	179
Potensi dan masa depan pam mikro.....	182
Potensi penggunaan pam mikro dalam bidang perubatan	182
Inovasi terkini pam mikro dalam pelbagai bidang.....	185
Bidang persekitaran dan bioteknologi	185
Industri kimia dan penghasilan bahan	188
Penyelidikan dan pembangunan bahan baharu	189
Penghasilan bahan tenaga	190
Gabungan pam mikro dan teknologi terkini	191
RUJUKAN	193
INDEKS	197



"Pam mikro" merujuk kepada peranti berskala mikro yang direka untuk menggerakkan atau mengalirkan cecair dalam jumlah yang sangat kecil menggunakan penggerak tertentu. Kejuruteraan pula merupakan satu bidang yang mengaplikasikan kemahiran sains, teknologi dan matematik untuk membangunkan sesuatu objek atau menyelesaikan masalah dalam kehidupan. Salah satu cabang kejuruteraan masa kini adalah kejuruteraan perubatan. Terkini kejuruteraan perubatan menawarkan pelbagai penggunaan teknologi moden dalam memberikan rawatan yang lebih efektif dan berkesan kepada ramai pesakit. Antara teknologi moden terkini dalam kejuruteraan perubatan adalah pam mikro. Pam

mikro merupakan inovasi terkini yang memberikan impak besar kepada pelbagai aplikasi bidang ini, terutamanya dalam sistem mikro elektromekanik biologi (bioMEMS). Terdapat tiga bahagian penting dalam pembangunan pam mikro terma pneumatik ini iaitu elemen pemanas, penggerak dan peresap muncung. Pertimbangan geometri sistem pam mikro pada skala kecil juga mempunyai pengaruh yang cukup besar untuk pencirian pengangkutan cecair. Teknik fabrikasi MEMS yang boleh diulang-ulang, menggunakan kos yang rendah dan mudah telah digunakan. Dengan mengurangkan ketebalan membran, ia akan meningkatkan keupayaan pesongan penggerak. Oleh itu dalam buku ini, rekabentuk dan teknologi fabrikasi pam mikro terma pneumatik yang menjadikan filem nipis membran berasaskan polimid sebagai penggerak telah dibentangkan secara terperinci.



Norihan Abdul Hamid, PhD, merupakan pensyarah kanan di FTKEK, UTeM. Mempunyai kepakaran dalam MEMS serta aktif dalam penyelidikan, inovasi dan aktiviti kemasyarakatan. Beliau pernah memenangi beberapa anugerah inovasi antaranya Pingat Emas dan Anugerah Khas di MTE 2021, pingat Perak di ITEX 2018 dan ITEX 2017. Beliau juga sering menjadi penceramah jemputan untuk pelbagai program motivasi dan pendidikan.



Burhanuddin Yeop Majlis, PhD, adalah pengasas dan bekas pengarah IMEN (2002–2018). Sehingga kini beliau masih kekal menjadi profesor di IMEN. Dengan kepakaran lebih 40 tahun dalam MEMS dan NEMS, beliau telah bertanggungjawab membangunkan IMEN sebagai Pusat Kecemerlangan Nanoteknologi dan menjadi salah sebuah HiCoE dalam MEMS bio-perubatan di Malaysia.



Jumril Yunas, PhD, merupakan felo penyelidik di IMEN. Memperoleh PhD dalam teknologi MEMS di UKM (2008) dan MSc. dalam teknologi semikonduktor dan RWTH Aachen, Jerman (1997). Beliau juga adalah ahli IEEE dan IAAM yang aktif menjalankan penyelidikan dalam MEMS, nancelektronik, dan aplikasi bioperubatan. Terkini beliau telah menerbitkan 175 makalah dan memiliki lima paten.



**PENERBIT
UTeM
Press**

Website : <https://penerbit.utem.edu.my>
Books Online : <https://utembooks.utem.edu.my>
Email : penerbit@utem.edu.my

ISBN 978-629-7741-28-0



05100

9 786297 741260