

# REKABENTUK PLAT KAPASITANS UNTUK PENGESANAN ION KALIUM DI DALAM BENDALIR BAGI APLIKASI BUAH PINGGANG TIRUAN

Mas Syarafina Norzin<sup>1</sup>, Azrul Azlan Hamzah<sup>2</sup>, Jumril Yunas<sup>3</sup>,  
Burhanuddin Yeop Majlis<sup>4</sup>

Institute of Microengineering and Nanoelectronic (IMEN),  
Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM)  
[P90452@siswa.ukm.edu.my](mailto:P90452@siswa.ukm.edu.my)

## ABSTRAK

Dalam menentukan ion kalium, pengesan kalium sistem elektromekanik mikro (MEMS) digunakan bagi mengesan ion kalium dalam cecair dialisis di dalam buah pinggang tiruan. Dalam kajian ini, kajian pegun dilakukan dengan menggunakan simulasi COMSOL. Ujian terhadap kekonduksian bahan digunakan untuk mendapatkan nilai kapasitan tertentu. Terdapat empat jarak antara dua elektrod, 50 $\mu$ m, 100 $\mu$ m, 150 $\mu$ m dan 200  $\mu$ m digunakan dengan menggunakan bahan yang sama. Dengan membezakan nilai ini, nilai kapasitan, C kealiran, G dan rintangan, R boleh diperolehi. Keputusan menunjukkan bahawa dengan meningkatnya nilai jarak antara dua elektrod, d maka nilai kapasitan akan berkurang. Pada jarak antara dua elektrod, d 50 $\mu$ m, kapasitan menunjukkan nilai sebanyak 0.885pF. seterusnya, apabila jarak antara dua elektrod, d adalah 200 $\mu$ m, maka nilai kapasitan diperolehi adalah 0.221pF.

**Kata kunci:** pengesan ion kalium, kapasitan, buah pinggang tiruan.

## 1. Pengenalan

Pada masa kini, kegagalan buah pinggang adalah istilah untuk menggambarkan keadaan buah pinggang yang gagal berfungsi (Raghavendra et. Al., 2013). Apabila buah pinggang tidak berfungsi secara normal, ini membawa kepada kegagalan buah pinggang disebabkan oleh pengumpulan bahan buangan dan cecair yang berlebihan di dalam badan yang boleh menyebabkan beberapa masalah kesihatan (Benjamin 2016). Kegagalan buah pinggang dan fungsi buah pinggang yang berkurangan telah dirawat dengan dialisis (Rohde et. al. 2010). Dialisis boleh ditakrifkan sebagai penyebaran bahan larut melalui membran separa telap dari satu larutan kepada yang larutan lain (Zender 1946). Terdapat dua jenis terapi dialisis biasanya digunakan untuk merawat kehilangan fungsi buah pinggang iaitu hemodialisis dan dialisis peritoneal. Hemodialisis ini juga sinonim dengan buah pinggang tiruan.

Buah pinggang tiruan diperkenalkan dengan menggunakan bio perubatan sistem elektromekanik mikro (Bio-MEMS). Teknologi bio-MEMS mengintegrasikan pengesan skala mikro dan penggerak, mikro cecair, mikro-optik, dan unsur-unsur

struktur dengan pengiraan, komunikasi, dan kawalan untuk diaplikasikan kepada ubatan untuk peningkatan kesihatan manusia (Polla 2002). Peningkatan jumlah MEMS berasaskan peranti perubatan yang dibangunkan dapat menggambarkan utiliti ketepatan yang tinggi dan bersepadu terhadap sistem mikro dalam aplikasi perubatan (Steven et. Al. 2013). Dalam buah pinggang tiruan, berlaku proses untuk menyingkirkan sisa dan air yang tidak diinginkan daripada darah (N. Christian 2015). Terdapat beberapa kajian mengenai pengesan telah dibuat. Dengan menggunakan pengesan dan kawalan, mesin dialisis boleh direka untuk membuat pelarasan semasa rawatan dialisis, atau juruteknik kesihatan memantau pengesan dan kawalan untuk membuat pelarasan yang diperlukan secara automatik. Pengesan dan kawalan memainkan peranan penting semasa rawatan dialisis (Crnkovich et. Al. 2015).

Pada masa kini, di pasaran wujud pelbagai jenis penganalisis ion darah (Kost et. Al., 1996) yang menggunakan elektrod ion-terpilih (ISE) bagi menentukan ion seperti  $H^+$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$  dan  $CO_3^{2-}$ . Ion sensitif bidang terkesan transistor (ISFET) dengan penebat  $SiO_2$  sebagai pengesan membran untuk aplikasi bio-perubatan telah pertama dicipta oleh P. Bergveld pada tahun 1970 (Bergveld 1970). Dengan kelebihan kos yang rendah, masa tindak balas yang cepat, saiz kecil dan struktur pepejal, Ion sensitif bidang terkesan transistor (ISFETs) yang direka dengan teknologi CMOS adalah alat yang mampu menjanjikan untuk mengesan aktiviti ion dalam badan manusia (Kuan et. al. 2009). Walau bagaimanapun, kerja-kerja penyelidikan dan pembangunan dalam bidang ini masih berterusan dan bertujuan untuk mensintesis ionofor baru dengan pemilihan yang lebih baik dan lipofilisiti lebih tinggi untuk ISE bekerja dalam hubungan secara langsung dengan darah dan plasma darah keseluruhan sampel, dan juga pada reka bentuk baru konsep penganalisis, yang tidak memerlukan penyelesaian penentuan kompleks (Natalia et. al, 2009). Pengesan potentiometrik juga sering digunakan untuk analisis ion dan sebagai pengesan bio enzim (Tymecki 2006, Yoon 2000). Menurut Kuan 2009 juga untuk mengesan ion, kepekaan, kelinearan, dan pemilihan adalah parameter penting. Dalam tahun-tahun yang lalu, terdapat banyak jenis kaedah untuk mengubah sensitiviti atau pemilihan bahan pengesan bagi kalium ion dan natrium ion, seperti polimer (Mourzina 2003), ion-diimplan (Baccar 1997), atau elektro-kimia lapisan sensitif (Moschou 2001). Walau bagaimanapun, masih terdapat beberapa masalah tidak stabil dalam kaedah ini diterbitkan, seperti masalah lekatan untuk tambahan elektrokimia atau membran polimer sensitif, kerosakan untuk implantasi dan jangka hayat untuk semua kaedah (Kuan et. Al. 2009).

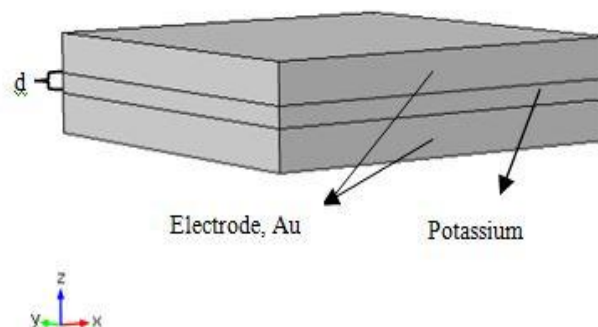
Kalium adalah penting untuk fungsi jantung dan otot, dan kalium dalam badan ditemui dalam sel-sel organ-organ ini. Untuk sel-sel berfungsi dengan baik, adalah penting untuk badan mengekalkan keseimbangan kalium. Buah pinggang berfungsi untuk mengawal keseimbangan ini. Kehadiran kalium yang berlebihan boleh mendatangkan bahaya, jadi buah pinggang akan mengekstrak sebarang lebihan dari badan dan bahan kumuhan dalam air kencing (Lundin et al. 1993). Dalam kajian ini, MEMS pengesan berasaskan kapasitif untuk menentukan ion kalium akan dibuat bagimengesan ion kalium dalam cecair dialisis. Ini akan membantu untuk penyingkiran bahan buangan untuk mengekalkan kepekatan ion. Malah, buah pinggang bertanggungjawab untuk proses penting seperti penyingkiran bahan buangan toksik, cecair yang berlebihan dan juga untuk mengekalkan keseimbangan asid-bes (pH) dan elektrolit (contohnya  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ) (Manoj et. Al. 2016). Pengesan kapasitif kreatinin telah dibangunkan dan ikatan kreatinin dapat dikesan dengan penurunan nilai kapasitan elektrod, dimana pengesan ini menunjukkan ianya

sangat selektif kerana tiada tindakbalas berlaku apabila penambahan kreatinin, urea dan glukosa (Tatiana et. Al. 2001). Dalam usaha untuk menangani keperluan untuk peranti cepat, murah dan mudah alih, bersaiz kecil dan sistem label bebas, pengesan bio elektrik dan beberapa tegasan permukaan berasaskan bio pengesan, telah dibangunkan. Bio pengesan elektrik adalah seperti Amperometrik, voltametrik, galangan atau kapasitif pengesan (Daniels dan Pourmand, 2007). Kelebihan utama pengesan elektrik, dalam kapasitif bacaan khususnya, adalah bagi memudahkan pengesanan, penggunaan kuasa yang rendah dan fleksibiliti dalam saiz pengesan dan sensitiviti parameter. Selain itu, kapasitif pengesan juga boleh direka dengan mudah dan mempunyai keupayaan integrasi bacaan dalam pengesan (Tsoutia et. Al., 2011). Seterusnya, apabila elektrod dan elektrod rujukan pengesan immuni kapasitif dimasukkan ke dalam elektrolit cecair, elektrokimia lapisan kedua antara elektrod dan elektrolit berfungsi sebagai lapisan dielektrik kapasitor dan apabila molekul protein terjerap pada permukaan elektrod, elektrod / elektrolit antara muka kapasitor akan berubah, dimana boleh menunjukkan kepekatan antigen atau antibodi dalam elektrolit (Wang et. al. 2008).

## 2. Kaedah

Dalam kajian ini, rekabentuk awal telah dilakukan dengan menggunakan alat perisian simulasi COMSOL seperti berikut :

1. Buka perisian, mula.
2. Pilih ruang dimensi.
3. Pilih dan tambah unsur fizik yang ingin digunakan.
4. Pilih kajian yang berkaitan.
5. Bina geometri.
6. Masukkan unsur bahan.
7. Mesh
8. Pengiraan.



Rajah 1. Rajah sisi kapasitor plat selari

Rajah 1 menunjukkan saiz rekabentuk bahan berukuran  $1000\mu\text{m} \times 1000\mu\text{m}$ , dan ketinggian setiap elektrod, Au adalah  $100\mu\text{m}$ . Jarak antara dua elektrod,  $d$  yang berbeza ( $50\mu\text{m}$ ,  $100\mu\text{m}$ ,  $150\mu\text{m}$  dan  $200\mu\text{m}$ ) telah digunakan dalam kajian ini bagi mendapatkan nilai kapasitan berdasarkan jarak ditetapkan.

Kapasitor boleh didapati dalam tiga konfigurasi yang rata (selari), silinder (sepaksi), dan sfera (sepusat) (Yurish, 2014). Kapasitan antara dua elektrod iaitu plat sejajar adalah seperti

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r A/d \quad (1)$$

dimana  $\epsilon_0$  ( $8.854 \cdot 10^{-12}$  F/m),  $\epsilon_r$  ketelusan relatif bahan antara plat. A adalah luas

kawasan plat elektrod ( $m^2$ ) dan  $d$  adalah jarak antara dua plat elektrod ( $m^2$ ).

Dalam kapasitor, sifat elektrik bahan dielektrik dikekalkan antara dua elektrod selari yang dicirikan oleh kapasitan ( $C$ ) dan aliran ( $G$ ).  $G$  boleh ditentukan oleh persamaan berikut

$$G = A \sigma / d \quad (2)$$

dimana  $\sigma$  adalah kekonduksian elektrik terhadap bahan biologi (S/m). Kekonduksian  $\sigma$  boleh ditakrifkan sebagai berkadar songsang terhadap kerintangan tertentu.

Rintangan bahan tertentu meningkat dengan jarak, tetapi berkurangan dengan peningkatan luas keratan rentas, seperti persamaan berikut

$$R = \rho d / A \quad (3)$$

Aliran,  $G$  juga berkadar songsang dengan rintangan,  $R$ , dimana  $R$  adalah nisbah voltan,  $V$  merentasi ke arus, seperti persamaan berikut

$$G = I / V = 1 / R \quad (4)$$

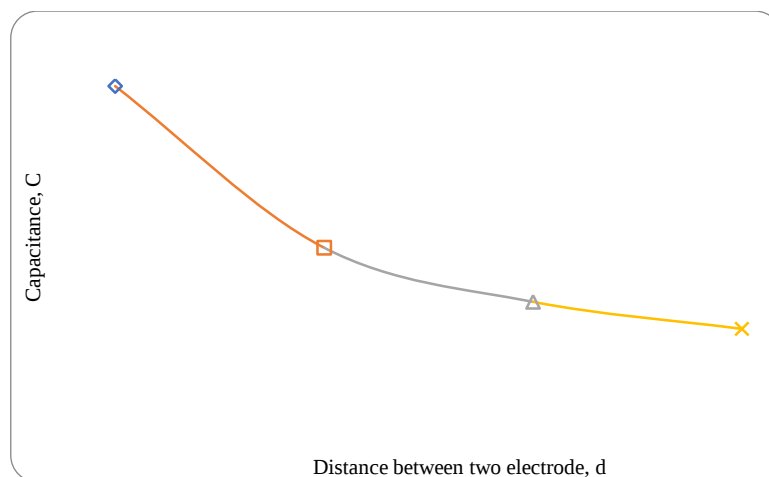
Oleh itu, nilai aliran, rintangan dan kapasitan boleh diukur dengan nilai jarak antara dua plat elektrod,  $d$  yang berbeza.

### 3. Keputusan Dan Perbincangan

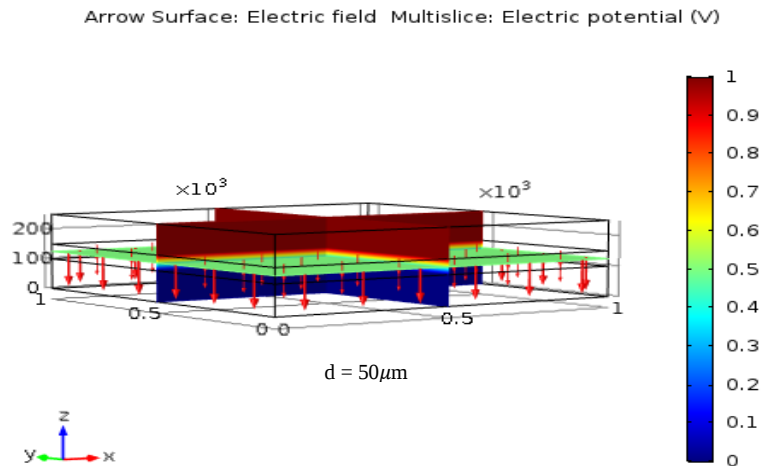
Jadual 1. Jadual menunjukkan nilai kapasitan, aliran dan rintangan.

| Jarak antara dua elektrod, $d$ ( $\mu m$ ) | Kapasitan, $C$ $10^{-13}$ (F) | Aliran, $G$ $10^3$ (S) | Rintangan, $R$ $10^{-6}$ ( $\Omega$ ) |
|--------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| 50                                         | 8.85                          | 285.306                | 3.505                                 |
| 100                                        | 4.43                          | 142.653                | 7.010                                 |
| 150                                        | 2.95                          | 95.102                 | 10.515                                |
| 200                                        | 2.21                          | 7.132                  | 14.020                                |

Keputusan menunjukkan bahawa dengan meningkatkan jarak antara dua plat,  $d$  nilai kapasitan,  $C$  adalah semakin menurun. Tambahan pula, kealiran, nilai  $G$  juga menjadi lebih rendah dengan peningkatan nilai jarak di antara dua elektrod,  $d$ . Walau bagaimanapun, nilai rintangan,  $R$  juga menjadi lebih tinggi. Dengan peningkatan jarak di antara dua elektrod,  $d$ . Selain itu, semakin meningkat nilai rintangan maka nilai aliran akan semakin berkurang.



Rajah 2. Graf kapasitan melawan jarak antara dua elektrod



Rajah 3. Rajah menunjukkan simulasi COMSOL bagi jarak antara dua elektrod,  $d = 50 \mu\text{m}$

#### 4. Kesimpulan

Kesimpulannya, apabila peningkatan jarak antara dua elektrod dilakukan, terdapat pengurangan dalam nilai kapasitan. Pada jarak antara dua elektrod,  $d = 50 \mu\text{m}$ , kapasitan menunjukkan nilai sebanyak  $0.885 \text{ pF}$ . seterusnya, apabila jarak antara dua elektrod,  $d$  adalah  $200 \mu\text{m}$ , maka nilai kapasitan diperolehi adalah  $0.221 \text{ pF}$ . Medan elektrik yang terbentuk ini juga menunjukkan selari dengan plat elektrod dimana daripada nilai terminal tinggi,  $1 \text{ V}$  ke terminal nilai rendah. Dalam kajian ini, kajian awal pegun sahaja dilakukan. Kajian ini akan dilanjutkan dengan pemilihan reka bentuk yang terbaik dan pemilihan bahan yang akan digunakan untuk mengesan ion kalium dalam cecair dialisis dan darah.

#### Rujukan

- A. P. Lundin, and M. F. Lundin. 1993. Why Dialysis Patients Need to Limit Potassium. *aakp RENALIFE* Vol. 8, No. 2.
- B. Wedro. 2016. Kidney Failure. [http://www.medicinenet.com/kidney\\_failure/article.htm](http://www.medicinenet.com/kidney_failure/article.htm).
- C. Berggren, B. Bjarnason, and G. Johansson. 2001. *Electroanalysis* 13. 173–180.
- C. Nordqvist. June 2015. What Is Dialysis ? What Is Kidney Dialysis ? <http://www.medicalnewstoday.com/articles/152902.php>.
- D. L. Polla. 2002. *BioMEMS applications in medicine. Micromechatronics and Human Science*, 2001. MHS 2001. Proceedings of 2001 International Symposium on.
- E.A. Moschou, and N.A. Chaniotakis. 2001. Potassium selective CHEMFET based on an ion-partitioning membrane. *Anal. Chim. Acta*, vol. 445, pp. 183-190.
- G.J. Kost, C. Hague, in: G.J. Kost (Ed.), 1996. *Handbook of Clinical Automation, Robotics and Optimization*, John Wiley & Sons, Inc., Chichester, p. 648.
- H.J. Yoon, J.H. Shin, S.D. Lee, H. Nam, G.S. Cha, T.D. Strong, R.B. Brown, *Sens. Actuators B* 64.8. 2008.
- J. Zender. 1946. Process and apparatus for dialyzing solutions. US Patent 2 411 238.
- J. B. Rohde, W. W. Han, E. A. Everitt, M. E. Hogard, Y-C. Lo, E. M. Copeland, W. P. Burns, and Weniger. 2010. In-line sensors for dialysis applications. US 20100051552 A1.

- J.S. Daniels, and N. Pourmand. 2007. *Electroanalysis*. 19, 1239–1257.
- K. Tymecki, and R. Koncki, *Sens*. 2006. *Actuators B* 113.782.
- Kuan-I Ho, Tseng-Fu Lu, Chung-Po Chang, and Chao-Sung Lai. 2009. Sodium and Potassium Ion Sensing Properties of EIS and ISFET Structures with Fluorinated Hafnium Oxide Sensing Film. 978-1-4244-5335-1/09/ IEEE Sensors.
- M. Crnkovich, A. Wang and F. Wang. 2015. Sensor and Method Of Sensing For Dialysis Machine. US patent 2015/0008183 A1.
- M. K. Sharma, F. P. Wieringa, A. J. H. Frijns and J. P. Kooman. 2016. On-Line Monitoring Of Electrolytes In Hemodialysis: On The Road Towards Individualizing Treatment. *Expert Review Of Medical Devices*. Vol. 13, no. 10, 933–943.
- Natalia Abramova, Andrey Ipatov, Sergey Levichev, and Andrey Bratov. 2009. Integrated multi-sensor chip with photocured polymer membranes containing copolymerised plasticizer for direct pH, potassium, sodium and chloride ions determination in blood serum. *Talanta* 79 (2009) 984–989.
- P. Bergveld. 1970. Development of an ion-sensitive solid state device for neuro-physiological measurements. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME-17, pp. 70-71.
- Raghavendra, Mallikarjun, and M.J. Vidya. April 2013. Functions of Kidney & Artificial Kidneys. *International Journal Of Innovative Research In Electrical, Electronics, Instrumentation And Control Engineering* Vol. 1, Issue 1. Issn 2321 – 2004.
- S. Kim and S. Roy. November 2013. *Microelectromechanical Systems and Nephrology : The Next Frontier in Renal Replacement Technology*. *MEMS and Nephrology : Advances in Chronic Kidney Disease*. Vol 20, No 6: pp 516-535.
- S. Yurish. July 2014. *Modern Sensors, Transducers and Sensor Networks Volume 1 of Advances in sensors : reviews*.
- Tatiana P. D., Vladimir M. M., and Otto S. W., 2001. Capacitive Creatinine Sensor Based on a Photografted Molecularly Imprinted Polymer. *Electroanalysis* 2002, 14, No. 3.
- T. T. Ngo, A. Bourjilat, J. Claudel, D. Kourtiche and M. Nadi. 2016. Design and Realization of a Planar Interdigital Microsensor for Biological Medium Characterization. Springer International Publishing Switzerland, S.C. Mukhopadhyay (ed.), *Next Generation Sensors and Systems, Smart Sensors, Measurement and Instrumentation* 16..
- V. Tsoutia, C. Boutopoulos, I. Zergioti , and S. Chatzandroulisa. 2011. Capacitive microsystems for biological sensing. *Biosensors and Bioelectronics* 27 (2011) 1– 11.
- Y. Wang, H. Xu, J. Zhang and G. Li. 2008. *Electrochemical Sensors for Clinic Analysis*. *Sensors* 2008, 8, 2043-2081.
- Yu. Mourzina, Th. Mai, A. Poghosian, Yu. Ermolenko, T. Yoshinobu, Yu. Vlasov, H. Iwasaki, and M.J. Schoning. 2003. K<sup>+</sup>-selective field-effect sensors as transducers for bioelectronic applications. *Electrochim. Acta*, vol. 48, pp. 3333-3339.
- Z.M. Baccar, N. Jaffrezic-Renault, C. Martelet, H. Jaffrezic, G. Marest, and A. Plantier. 1997. K<sup>+</sup>-ISFET type microsensors fabricated by ion implantation”, *Mater. Chem. Phys.*, vol. 48, pp.