

Analisis Pengurangan Kadar Penyerapan Spesifik dalam Kepala Manusia Menggunakan Bahan Ferit dan Metabahan

(Analysis of Specific Absorption Rate (SAR) Reduction in the Human Head Using Ferrite Materials and Metamaterial)

NORBAHIAH MISRAN, MOHAMMAD TARIQUL ISLAM, MOHAMMAD RASHED IQBAL FARUQUE, NURUL HAFIZAH MOHD HANAFI, FARIZAH ANSARUDIN* & MOHD. FAISAL IBRAHIM

ABSTRAK

Kertas ini membincangkan kaedah untuk mengurangkan kesan interaksi gelombang elektromagnet dengan kepala manusia menggunakan bahan ferit dan metabahan. Pengukuran pengurangan bagi Kadar Penyerapan Spesifik (SAR) menggunakan bahan ferit dan metabahan telah dilaksana dengan kaedah domain-masa perbezaan-terhingga (FDTD) model Lossy-Drude melalui perisian CST Microwave Studio. Metabahan dibentuk dengan menyusun penyalun cincin terpisah (SRRs) secara berkala. Nilai SAR diukur pada beberapa nilai jarak antara model kepala dengan telefon, kelebaran, ketebalan dan ketinggian bahan ferit dan metabahan. Hasil kajian menunjukkan bahawa nilai SAR_{1g} telah berkurang kepada 1.043 W/kg dengan menggunakan bahan ferit dan 1.161 W/kg dengan menggunakan metabahan. Bagi SAR_{10g} , nilai SAR menurun kepada 0.676 W/kg menggunakan bahan ferit dan 0.737 W/kg dengan menggunakan metabahan. Keputusan bagi nilai SAR dalam kepala manusia dengan kehadiran SRR yang membentuk metabahan telah dianalisis untuk menentusahkan kesan bagi pengurangan SAR ini. Keputusan analisis ini boleh memberikan maklumat yang dapat membantu dalam reka bentuk peralatan komunikasi tanpa wayar bagi mematuhi peraturan keselamatan.

Kata kunci: Antena; bahan ferit; Kadar Penyerapan Spesifik (SAR); kaedah FDTD; metabahan

ABSTRACT

This paper discusses the method to reduce electromagnetic wave interaction with the human head using ferrite and metamaterials. The measurement of Specific Absorption Rate (SAR) reduction with ferrite materials and metamaterials was performed using the finite-difference time-domain (FDTD) method with Lossy-Drude model via CST Microwave Studio software. The metamaterials was formed from a periodic arrangement of the split ring resonators (SRRs). The SAR values were measured at several distances between the head model and the phone, widths, thicknesses, and heights of the ferrite and metamaterial. The research results indicated that the SAR_{1g} value has been reduced to a value of 1.043 W/kg using ferrite material and 1.161 W/kg using metamaterials. For SAR_{10g} , the value decreases to 0.676 W/kg using ferrite material and 0.737 W/kg using metamaterials. Numerical results of the SAR values in a human head with the presence of SRRs as metamaterials are shown to validate the effect of SAR reduction. These results can provide useful information in the design of the wireless communication equipment for safety compliance.

Keywords: Antenna; FDTD method; ferrite materials; metamaterial; specific absorption rate (SAR)

PENGENALAN

Perkembangan pesat teknologi telekomunikasi masa kini, telah menyebabkan penggunaan telefon bimbit kian meningkat secara mendadak di kalangan komuniti global. Justeru, isu kesan radiasi gelombang elektromagnet (EM) khususnya daripada penggunaan telefon bimbit dan risikonya terhadap kesihatan manusia kini hangat dibincangkan di media antarabangsa mahupun media tempatan. Pada 31 Mei 2011, Pertubuhan Kesihatan Sedunia (WHO) telah mengklasifikasikan gelombang EM yang dibebaskan oleh telefon bimbit berkemungkinan adalah karsinogen iaitu suatu agen yang boleh mencetuskan pertumbuhan kanser dalam tisu hidup. Berdasarkan penyelidikan yang dijalankan oleh WHO (2011) di bawah Agensi Antarabangsa

untuk Penyelidikan Kanser (IARC), yang disertai oleh 31 penyelidik dari 14 negara, membuktikan bahawa radiasi gelombang EM dari telefon bimbit meningkatkan risiko berlakunya glioma iaitu sejenis kanser otak.

Secara umumnya, kadar radiasi EM terhadap badan manusia boleh diukur berdasarkan Kadar Penyerapan Spesifik atau SAR (Specific Absorption Rate). SAR adalah parameter yang digunakan untuk mengukur kadar tenaga radiasi EM yang diserap oleh tisu biologi. Dengan kata lain, SAR adalah ukuran bagi kadar tenaga radiasi radio frekuensi (RF) yang diserap oleh badan manusia apabila terdedah kepada gelombang EM. Nilai SAR boleh dikira menggunakan rumus berikut (IEEE C95.1-2005 Guidelines 2005):

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} E^2 (W / kg)$$

dengan E adalah medan elektrik (V/m), ρ adalah ketumpatan tisu (kg/m^3) dan σ adalah konduktiviti tisu (S/m). Parameter ini kebiasaannya digunakan untuk mengukur tenaga yang diserap oleh tubuh manusia daripada telefon bimbit dan juga semasa imbasan pengimejan resonans magnet (MRI). Nilai SAR bergantung sepenuhnya kepada struktur geometri bahagian badan yang terdedah kepada tenaga RF dan lokasi serta struktur geometri sumber RF tersebut (Misran et al. 2011). Bagi mematuhi syarat piawaian keselamatan penggunaan telefon bimbit, nilai SAR mestilah tidak melebihi garis panduan pendedahan (IEEE C 95.1-1991 Guidelines 1992). Had nilai SAR yang ditetapkan adalah 1.6 W/kg bagi SAR_{1g} iaitu kadar serapan maksimum yang dibenarkan bagi 1 g tisu biologi manusia. Walau bagaimanapun, pada tahun 2005, nilai ini telah dikemaskini menjadi 2 W/kg bagi SAR_{10g} (IEEE C95.1-2005 Guidelines 2005). Secara umumnya, nilai SAR yang diperolehi dari telefon bimbit dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti keadaan kedudukan antena, corak radiasi antena, kuasa radiasi dan jenis antena yang digunakan (Faruque et al. 2011; Fung et al. 2002).

Dengan mengambil kira kesan SAR terhadap kesihatan manusia ini, adalah perlu satu kajian dijalankan bukan sekadar untuk menganalisis kesan tetapi juga untuk mencadangkan kaedah yang berkesan untuk mengurangkan kadar SAR. Sehubungan itu, sejak kebelakangan ini pelbagai penyelidikan telah dan sedang giat dijalankan untuk mencari kaedah yang efektif untuk mengurangkan kadar SAR. Dalam satu kajian yang telah dilakukan oleh Wang & Fujiwara (1999), kepingan ferit telah dicadangkan untuk digunakan sebagai pelindung tambahan yang diletakkan antara antena telefon mudah alih dan kepala. Kajian tersebut menunjukkan bahawa ferit dapat mengurangkan kadar SAR tanpa menjejaskan corak radiasi antena. Selain itu, teknik penggunaan pemantul pengalir elektrik sempurna (PEC) yang diletakkan di antara kepala manusia dan pemandu bagi antena gelung lipatan telah diperkenalkan oleh Hirata et al. (2004). Hasil analisis berangka kajian tersebut mendapati bahawa kecekapan radiasi dapat dipertingkatkan dan nilai SAR puncak dapat dikurangkan. Di samping itu, kajian bagi kesan terhadap bahan konduktif tambahan kepada telefon bimbit untuk pengurangan SAR juga telah dikaji oleh Chan et al. (2005). Melalui kajian tersebut, didapati bahawa kedudukan bagi bahan pelindung tersebut adalah faktor penting untuk keberkesanan pengurangan SAR.

Baru-baru ini, penemuan metabahan telah menarik perhatian para saintis disebabkan oleh sifat fizikalnya yang unik dan ia adalah bahan aplikasi baru (Hawang & Chen 2006). Metabahan adalah bahan buatan manusia yang mempunyai ciri elektromagnet yang tidak boleh diperolehi secara semulajadi. Dua parameter penting iaitu ketelusan elektrik dan ketelapan magnet menentukan tindak balas bahan terhadap perambatan elektromagnet di dalam

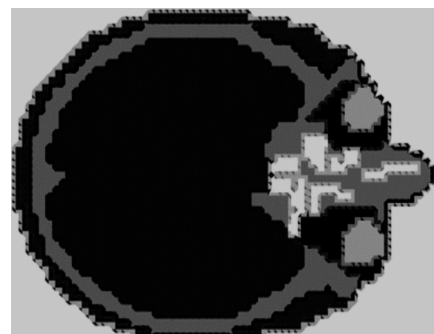
bahan tersebut. Bahan yang mempunyai ketelusan negatif boleh diperolehi dengan menyusun wayar nipis metalik secara berkala (Sigalalas et al. 1995). Dengan menyusun penyalut cincin terpisah (SRRs) secara berkala pula boleh menghasilkan kesan ketelapan negatif.

Dalam kajian ini, dua kaedah telah dicadangkan untuk menurunkan kadar SAR iaitu menggunakan bahan penyerap gelombang EM semula jadi (kepingan ferit) dan menggunakan bahan buatan (metabahan) seperti yang diterangkan oleh Wang & Fujiwara (1999). Reka bentuk SRRs yang beroperasi pada 900 MHz telah digunakan dalam kajian ini untuk mengurangkan nilai SAR. Walau bagaimanapun, kaedah reka bentuk SRRs ini tidak akan dibincangkan secara terperinci di dalam kertas ini. Kertas ini membincangkan kajian asas yang telah dijalankan bagi 1) mencadangkan kaedah mengurangkan kesan SAR dengan menggunakan bahan ferit dan metabahan, 2) menganalisis keberkesanan pengurangan SAR dan prestasi antena dengan mempelbagaikan jarak kedudukan, saiz dan parameter negatif bahan bagi bahan ferit dan metabahan dan 3) membuat perbandingan kadar pengurangan SAR di antara penggunaan metabahan dan bahan kepingan ferit tersebut.

BAHAN DAN KAEDAH

Dalam kajian ini, keseluruhan proses simulasi SAR telah dilaksanakan menggunakan kaedah domain-masa perbezaan-terhingga (FDTD) dengan model Lossy-Drude menggunakan perisian CST Microwave Studio. Kaedah ini adalah kaedah yang berkesan bagi mengkaji ciri perambatan gelombang bagi metabahan dan ia telah dibangunkan dengan menggunakan kaedah PML (Perfectly Matched Layer) bagi memberikan analisis tiga dimensi. Parameter bagi pengiraan FDTD adalah seperti berikut: domain simulasi adalah $128 \times 128 \times 128$ sel, saiz sel bagi paksi x , y dan z telah ditetapkan sebagai $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 1.0$ mm.

Model kepala yang digunakan dalam kajian ini diperolehi daripada model kepala berasaskan MRI melalui laman sesawang *The Whole Brain Atlas* (2004). Enam jenis tisu iaitu tulang, otak, otot, bebola mata, lemak dan kulit

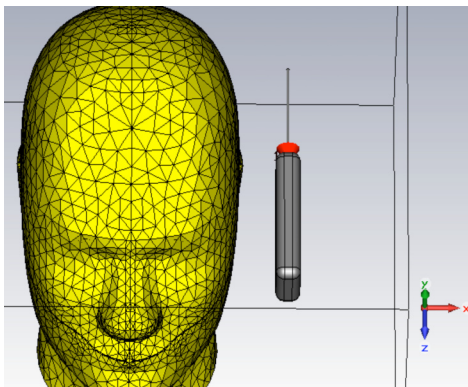


RAJAH 1. Keratan rentas model kepala manusia

telah digunakan dalam model ini (Al-Mously Abousetta 2008; IEEE Standard-1528 2003). Rajah 1 menunjukkan keratan rentas melalui bahagian mata bagi model kepala manusia ini. Sifat elektrik bagi tisu tersebut telah diambil daripada Wang dan Fujiwara (1999) dan Kuo dan Kuo (2003).

Rajah 2 menunjukkan model kepala manusia dan antenna heliks yang telah dimodelkan di dalam perisian CST Microwave Studio yang digunakan di dalam kajian ini. Antena heliks telah dimodelkan dengan menggunakan kaedah penghampiran wayar-nipis. Antena tersebut telah diletakkan secara selari dengan paksi kepala. Sebelum memulakan proses analisis penurunan kadar SAR, jarak di antara model kepala manusia dan model telefon perlu ditentukan. Jarak ini perlu mengambil kira ketebalan tisu, lemak dan kulit manusia. Dalam kajian ini, jarak bagi model telefon daripada model kepala manusia telah ditetapkan iaitu 20 mm untuk keseluruhan proses simulasi. Jarak diubah hanya untuk analisis kesan jarak model kepala dan model antenna terhadap pengurangan SAR.

Selain itu, kuasa output bagi model telefon bimbit juga perlu disetkan sebelum proses simulasi dilaksanakan. Dalam kajian ini, kuasa output telefon bimbit ialah 500 mW beroperasi pada frekuensi operasi 900 MHz. Dalam



RAJAH 2. Model kepala dan set telefon bimbit termasuk antenna untuk pengiraan SAR

kes sebenar, kuasa output bagi sesebuah telefon bimbit tidak akan mencapai 250 mW untuk kegunaan biasa, walau bagaimanapun kuasa output maksimum boleh mencecah sehingga 1 W atau 2 W apabila stesen pemancar berada jauh daripada stesen bergerak (telefon bimbit).

Dalam kajian ini, kepingan ferit telah dianalisis dengan saiz dan kedudukan yang sama seperti metabahan. Ketelusan dan ketelapan relatif bagi kepingan ferit adalah $\epsilon = 7.0 - j0.58$ dan $\mu = 2.83 - j3.25$ (Saunders 1999; Agius et al. 1999). Pada mulanya, bahan ferit telah diletakkan di antara antenna dan kepala manusia dan seterusnya dikira kadar pengurangan SAR. Ia kemudian digantikan pula dengan metabahan yang juga melalui prosedur yang sama. Metabahan boleh diperolehi dengan menyusun SRRs secara berkala (Smith et al. 2000; Shelby et al. 2001). Bagi kajian ini, metabahan yang digunakan adalah

struktur yang telah direka bentuk untuk memiliki ketelusan negatif pada frekuensi 900 MHz. Ia adalah struktur dua lapisan dengan elemen berbentuk dua gelung segiempat sepusat yang mempunyai sela (Bayindir et al. 2000). Metabahan dengan parameter medium ketelapan, $\mu = 1$ dan ketelusan, $\epsilon = -3$ ini diletakkan di antara antenna dan kepala manusia bagi menggantikan kepingan ferit. Jarak di antara titik suapan antenna dan sisi metabahan adalah 3 mm. Saiz bagi metabahan dalam satah- xz adalah 45 mm \times 45 mm dan ketebalan metabahan adalah 6 mm. Kesan perubahan kedudukan, saiz dan parameter negatif bahan bagi metabahan dan bahan ke atas keberkesanan penurunan SAR turut juga dianalisis.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

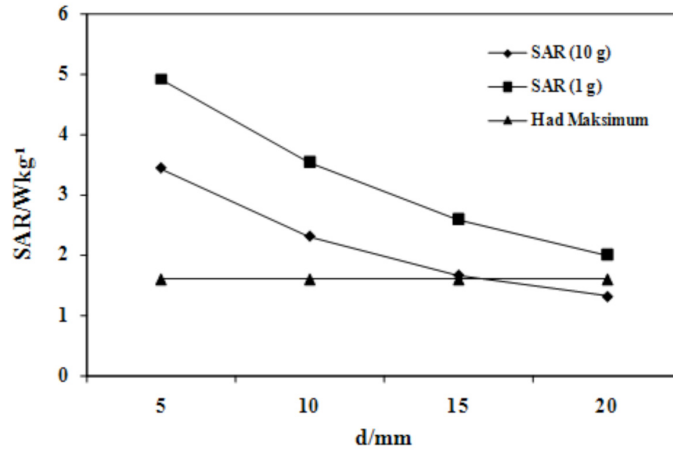
PENGIRAAN SAR DALAM KEPALA MANUSIA DENGAN PENGGUNAAN BAHAN FERIT

Pada peringkat awal analisis, nilai simulasi SAR puncak tanpa bahan ferit telah dikira iaitu bernilai 2.43 W/kg. Nilai SAR ini dibandingkan dengan hasil kajian oleh Wang dan Fujiwara (1999) dan Kuo dan Kuo (2003) untuk tujuan pengesahan seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1. Proses ini penting untuk menentukan tahap kebolehpercayaan terhadap keseluruhan model yang digunakan dalam kajian ini, sebelum bahan ferit dan metabahan diletakkan pada model telefon bimbit bagi pengiraan kadar penurunan SAR. Berdasarkan Jadual 1, didapati nilai kadar serapan SAR tanpa bahan ferit yang diperolehi daripada kajian ini hampir sama dengan keputusan beberapa penyelidik lain. Ini membuktikan bahawa hasil simulasi yang diperolehi dari kajian ini boleh diyakini. Setelah proses ini selesai, barulah kepingan ferit diletakkan pada model telefon bimbit dan dikira nilai SAR. Apabila bahan ferit diletakkan di antara kepala manusia dan telefon bimbit, didapati bahawa nilai SAR telah menurun secara mendadak kepada 1.043 W/kg.

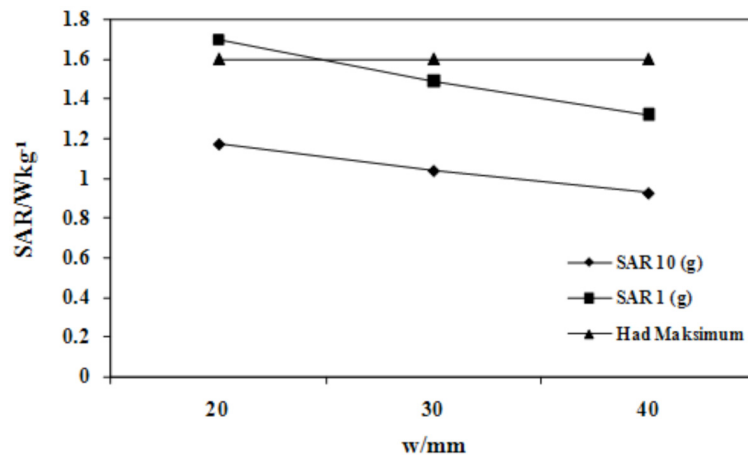
Kajian ini juga menganalisis keberkesanan pengurangan SAR dengan mempelbagaikan jarak kedudukan dan saiz bahan ferit dengan mengubah kelebaran, ketebalan dan ketinggian bahan ferit tersebut. Rajah 3, 4, 5 dan 6 menunjukkan perubahan nilai SAR apabila 1) jarak, d di antara model telefon dengan model kepala antara 5.0 – 20 mm, 2) lebar, w bagi kepingan ferit antara 20 - 40 mm, 3) ketebalan, t bagi kepingan ferit di antara 2.0 - 3.5 mm

JADUAL 1. Perbandingan bagi puncak SAR dengan kepingan ferit

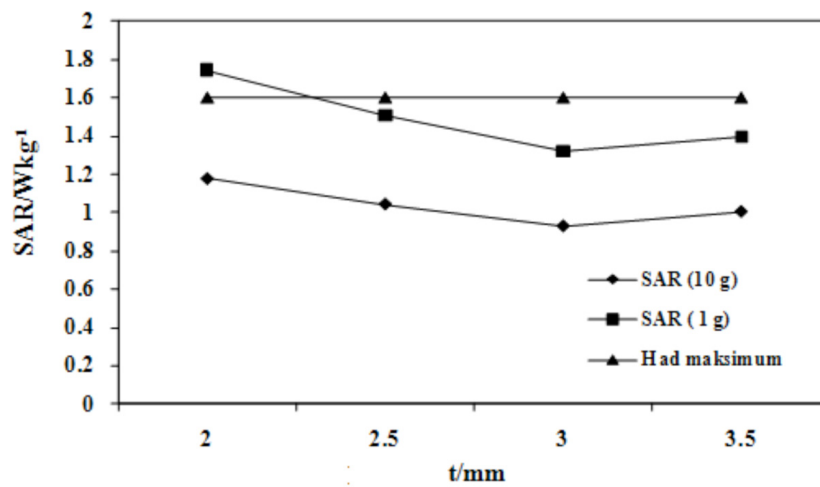
Tisu	Nilai SAR (W/Kg)
Nilai SAR daripada Wang & Fujiwara (1999)	2.17
Nilai SAR daripada Kuo & Kuo (2003)	2.28
Nilai SAR tanpa bahan ferit	2.43
Nilai SAR untuk struktur dengan kepingan ferit 1 g	1.043



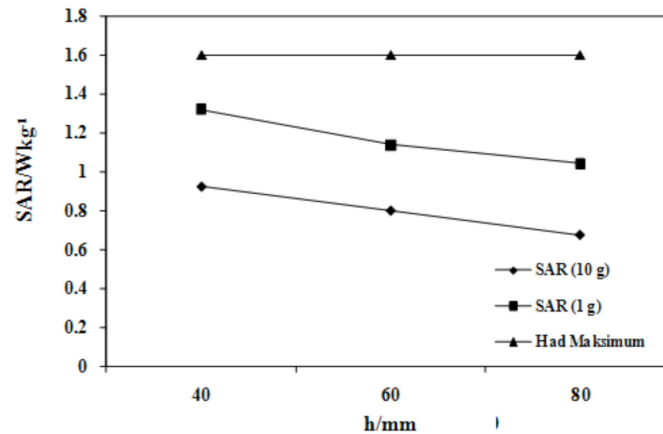
RAJAH 3. Nilai SAR melawan jarak antara model telefon bimbit dan model kepala manusia



RAJAH 4. Nilai SAR melawan lebar bagi kepingan ferit



RAJAH 5. Nilai SAR melawan ketebalan kepingan ferit



RAJAH 6. Nilai SAR melawan ketinggian kepingan ferit

dan 4) ketinggian, h kepingan ferit di antara 40 - 80 mm. Tiga set nilai ditunjukkan iaitu untuk SAR_{1g} , SAR_{10g} dan untuk had maksimum SAR yang telah ditetapkan oleh garis panduan.

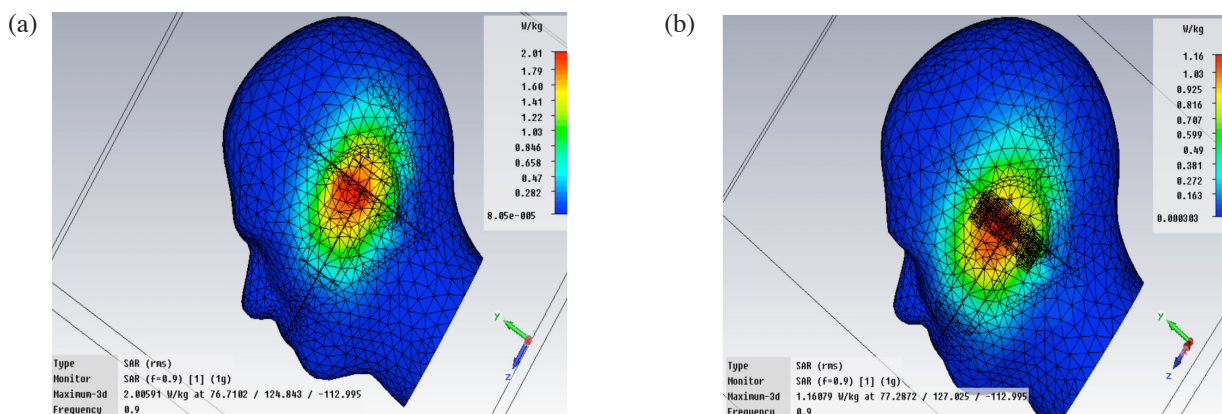
Keberkesanan penurunan kadar SAR bergantung kepada lebar dan tinggi bagi kepingan ferit. Rajah 3 menunjukkan bahawa jika jarak di antara model telefon dan model kepala dikurangkan, nilai SAR juga berkurang bagi kedua-dua SAR_{1g} dan SAR_{10g} . Sehingga jarak 15 mm, nilai SAR bagi kedua-dua kes masih berada di atas had maksimum yang telah ditetapkan. Daripada Rajah 4 boleh diperhatikan bahawa nilai SAR berkurang dengan peningkatan kelebaran kepingan ferit. Nilai SAR_{10g} melebihi had yang ditetapkan apabila kelebaran kepingan ferit ialah 20 mm. Bagi SAR_{1g} , nilainya adalah di bawah had maksimum.

Rajah 5 pula menunjukkan bahawa nilai SAR telah berkurang sehingga ketebalan kepingan ferit 3 mm dan mula meningkat selepas ketebalan tersebut 3 mm. Nilai SAR_{1g} melebihi had maksimum apabila menggunakan kepingan ferit dengan ketebalan 2 mm. Rajah 6 pula menunjukkan kesan SAR terhadap perubahan ketinggian sehingga 90 mm. Daripada rajah ini boleh disimpulkan bahawa jika ketinggian kepingan ferit meningkat maka nilai SAR akan berkurang. Kedua-dua SAR_{1g} dan SAR_{10g} memberikan nilai

di bawah had maksimum yang ditetapkan. Keputusan dari Rajah 5 dan 6 jelas menunjukkan bahawa dengan menyekat arus maksimum pada pengalir sebelah hadapan sahaja yang akan memberi pengurangan kepada nilai puncak SAR. Ini kerana pengurangan kuantiti kuasa radiasi yang diserap oleh kepala manusia adalah lebih besar berbanding kuasa yang dihilangkan oleh kepingan ferit.

PENGIRAAN SAR DALAM KEPALA MANUSIA DENGAN PENGGUNAAN METABAHAN

Nilai SAR dan prestasi antenna dengan metabahan juga telah dianalisis. Hasil kajian ditunjukkan dalam Jadual 2. Keputusan menunjukkan bahawa penggunaan metabahan boleh menurunkan nilai puncak SAR_{1g} sebanyak 42.12% iaitu daripada 2.006 W/kg kepada 1.161 W/kg. Oleh itu, boleh disimpulkan daripada keputusan ini bahawa, metabahan boleh mengurangkan nilai puncak SAR dengan efektif dan kesan gangguan terhadap prestasi antenna adalah kecil. Metabahan menyalun disebabkan oleh kemuatan dan kearuhan dalaman. Rajah 7 menunjukkan taburan SAR pada kepala manusia sebelum dan selepas diletakkan metabahan. Melalui perbandingan yang dibuat pada rajah 7 (a) dan 7 (b) didapati bahawa taburan SAR telah berkurangan selepas metabahan diletakkan pada model telefon bimbit.



RAJAH 7. Taburan SAR (a) sebelum dan (b) selepas penggunaan metabahan

JADUAL 2. Kesan penggunaan metabahan ke atas kadar SAR

(P _R = 500 mW untuk 900 MHz)		
	Tanpa bahan	metabahan ($\mu = 1, \epsilon = -3$)
SAR _{1g} (W/kg)	2.006	1.161

Akhir sekali, penggunaan metabahan telah dibandingkan dengan teknik penurunan SAR menggunakan bahan ferit. Perbandingan hasil keputusan bagi penurunan kadar SAR untuk bahan ferit dan metabahan ditunjukkan dalam Jadual 3. Berdasarkan jadual tersebut, nilai SAR_{1g} telah berkurang kepada 1.043 W/kg dengan menggunakan bahan ferit dan 1.161 W/kg dengan menggunakan metabahan. Manakala, bagi SAR_{10g}, nilai SAR menurun kepada 0.676 W/kg menggunakan bahan ferit dan 0.737 W/kg dengan menggunakan metabahan.

JADUAL 3. Perbandingan penurunan SAR dengan bahan ferit dan metabahan

SAR(W/Kg)	Bahan (kepingan ferit)	Metabahan
SAR _{1g}	1.043	1.161
SAR _{10g}	0.676	0.737

KESIMPULAN

Interaksi di antara gelombang EM yang terhasil daripada radiasi antena dengan tisu kepala manusia dengan penggunaan bahan ferit dan metabahan telah dibincangkan dalam kertas ini. Metabahan telah direka bentuk daripada penyusunan SRRs secara berkala. Dengan menggunakan bahan ferit, nilai SAR telah mencapai 0.676 W/kg untuk SAR_{10g} dan dengan menggunakan metabahan nilai SAR mencapai 0.737 W/kg untuk SAR_{10g}. Berdasarkan kaedah 3-D FDTD dengan model Lossy-Drude, didapati bahawa nilai puncak SAR_{1g} bagi kepala manusia boleh dikurangkan dengan menggantikan bahan ferit kepada metabahan di antara antena dan kepala manusia. Hasil keputusan yang diperolehi boleh memberi maklumat yang amat berguna dalam mereka bentuk peralatan komunikasi yang mematuhi syarat keselamatan.

RUJUKAN

Agius, A.A., Leach, S.M., Suvannapattana, P. & Saunders, A.R. 1999. Effects of the human head on the radiation pattern performance of the quadrifilar helix antenna. *Proceedings IEEE International Symposium Antennas and Propagation Society* (2): 1114-1117.

- Al-Mously, S.I. & Abousetta, M.M. 2008. A novel cellular handset design for enhanced antenna performance and a reduced SAR in the human head. *International Journal of Antennas and Propagation* DOI: 10.1155/2008/642572.
- Bayindir, M., Aydin, K. & Ozbay, E. 2000. Transmission properties of composite metamaterials in free space. *Phys. Rev. Lett.* 84(18): 4184-4187.
- Chan, K.H., Chow, K.M., Fung, L.C. & Leung, S.W. 2005. Effects of using conductive materials for SAR reduction in mobile phones. *Microwave Optical Technology Letter* 44(2): 140-144.
- Faruque, M.R.I., Islam, M.T. & Misran, N. 2011. Analysis of SAR levels in human head tissues for four types of antennas with portable telephones. *Australian Journal of Basic & Applied Sciences* 5(3): 96-107.
- Fung, L.C., Leung, S.W. & Chan, K.H. 2002. An investigation of the SAR reduction methods in mobile phone application. *2002 IEEE International Symposium on EMC.* (2): 656-660.
- Hawang, J.N. & Chen, F.C. 2006. Reduction of the peak SAR in the Human Head with Metamaterials. *IEEE Transactions on Antenna and Propagation* 54(12): 3763-3770.
- Hirata, A., Adachi, T. & Shiozawa, T. 2004. Folded loop antenna with a reflector for mobile handsets at 2.0 GHz. *Microwave Optical Technology Letter* 40(4): 272-275.
- IEEE C95.1. 1991. IEEE Standards for safety levels with respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic fields, 3KHz to 300GHz. New York Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- IEEE C95.1-2005. 2005 *IEEE Standards for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz*. New York Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Kuo, C.M. & Kuo, C.W. 2003. SAR distribution and temperature increase in the human head for mobile communication. *IEEE-APS International Symposium Digest*, Columbus, 1025-1028.
- Misran, N., Faruque, M.R.I., Islam M.T., & Abidin H. Z. 2011. Investigation of Dosimetry in Human Head Model for a Helical Antenna with Mobile Phone. *International Journal of the Physical Sciences* 6(5): 1000-1008.
- Saunders, S.R. 1999. Satellite and terrestrial mobile handheld antenna interactions with the human head. *Institution of Electrical Engineers Proceedings Microwaves, Antennas and Propagation* 146(5): 305-310.
- Shelby, R.A., Smith, D.R. & Schultz S. 2001. Experimental verification of a Negative Index Refraction. *Science* 292(5514): 77-79.
- Sigalalas, M.M., Chan, C.T., Ho, K.M. & Soukoulis C.M. 1995. Metallic photonic band gap materials. *Physical Review B* 52(16): 11744-11751.
- Smith, D.R., Padilla, Willie J., Vier, D.C., Nemat-Nasser, S.C. & Schultz, S. 2000. Composite Medium with simultaneously Negative Permeability and Permittivity. *Physical Review Letters* 84(18): 4184-4187.
- Wang, J. & Fujiwara, O. 1999. FDTD computation of temperature rise in the human head for portable telephones. *IEEE Trans. Microwave Theory Technology* 47(8): 1528-1534.

World Health Organization (WHO), 31 Mei 2011. *Electromagnetic fields and public health: mobile phones*. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/en/> [15 June 2011].

Norbahiah Misran, Iqbal Faruque, Nurul Hafizah Mohd Hanafi, Farizah Ansarudin* & Mohd Faisal Ibrahim
Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem
Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor D.E.
Malaysia

Mohammad Tariqul Islam
Institut Sains Angkasa
Aras 2, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor D.E.
Malaysia

Corresponding author; email: izah@eng.ukm.my

Diserahkan: 2 Februari 2011

Diterima: 20 Januari 2012