

# Mri Of Brain Tumors: Comparison Of T1 Post Contrast Image Weighting Spin Echo And Fast Spin Echo Sequence Using The Modality Of Mri 0,3 Tesla

## Pemeriksaan MRI Tumor Otak : Perbandingan Sekuens Spin Echo dan Fast Spin Echo pada T1 post Kontras dengan MRI 0.3 Tesla

Emi Murniati  
Sugiyanto  
Jeffri Ardiyanto

Dosen Jurusan Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Poltekkes Kemenkes Semarang  
Jl. Tirta Agung Pedalangan Banyumanik Semarang  
E-mail: emimurniati@ymail.com

### Abstract

The purpose of this research is to find out information differences in image between two techniques from MRI 0,3 . Hopefully, it will be useful for radiographers to produce high quality post contrast images. Samples of this research were 30 patients having MRI brain tumor examination then were set with 2 sequences (spin echo and fast spin echo). Result was analized by using questionnaire observed by 3 radiologist. Data were then analized with Mann-Whitney and description of images was given. Result indicated that There were statistically differences between spin echo and fast spin echo post contrast T1 weighting image. Result showed that there were differences in post contrast T1 weighting image quality between spin echo and fast spin echo sequence. Statistically, with mann whitney test the differences were significant, with p value 0,000 ( $p < 0,5$ )

*Key Words: spin echo, fast spin echo, T1 weighting post contrast image, brain tumor*

### 1. Pendahuluan

Magnetik Resonance imaging (MRI) pertama kali digunakan pada tahun 1982 pada pemeriksaan sistem syaraf (*Worthington, 2001*). Pada saat ini MRI terus berkembang dan banyak berperan dalam berbagai pemeriksaan baik untuk kasus keganasan atau tumor, maupun kasus-kasus yang lain. Pada pemeriksaan dengan kasus tumor telah dilakukan beberapa studi tentang perlu tidaknya penggunaan media kontras atau cukup dengan menggunakan pembobotan T2 saja (*RMIT University, 1999*). Dari beberapa penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan media kontras akan memberikan penyangatan (*enhancement*) yang tidak dapat ditunjukkan dengan pembobotan T2.

Media kontras MRI berbeda dengan media kontras untuk radiografi dilihat dari bahan dan cara kerjanya. Bahan kontras MRI terbuat dari suatu bahan

paramagnetik dan yang biasa dipergunakan adalah Gadolinium (Gd), yang disenyawakan dengan *Diethylene Triaminepentaacetik Acid (DTPA)* sebagai *chelate*-nya sehingga menjadi senyawa GdDTPA agar tidak berbahaya dan mudah diekskresikan dari tubuh.

Mekanisme Senyawa GdDTPA tampak hiperintens pada citra MRI dengan cara menurunkan waktu relaksasi T1 disekitar jaringan dimana bahan paramagnetik tadi dipergunakan. Dengan berkurangnya waktu relaksasi T1 maka jaringan tersebut tampak terang pada citra pembobotan T1. Dengan pertimbangan tersebut maka pembobotan yang biasa digunakan untuk menampilkan citra post kontras adalah pembobotan T1. Selain itu dengan pembobotan T1 waktu sekuennya singkat dan sinyal inherennya relatif lebih bagus.

Pada MRI untuk menghasilkan pembobotan T1 dapat digunakan beberapa pulse sekuens. Pulse sekuens adalah cara mengaplikasikan pulsa dan gradien pada system sehingga terbentuk pembobotan dan kualitas citra yang diinginkan. Pulse sekuens yang sering digunakan adalah Spin Echo dan Fast Spin Echo (Westbrook & Kaut, 1998).

Berdasarkan observasi yang dilakukan oleh penulis didapatkan bahwa untuk kasus tumor otak, ada rumah sakit yang menggunakan sekuens Spin Echo dan ada rumah sakit yang menggunakan sekuens Fast Spin Echo untuk menghasilkan citra pembobotan T1 post kontras. Berdasarkan hal tersebut, penulis tertarik untuk mengkaji lebih jauh apakah ada perbedaan informasi diagnostik dengan sekuens spin echo maupun fast spin echo untuk menghasilkan T1 post kontras. Hasil kajian tersebut penulis tuangkan dalam penelitian yang berjudul "Pemeriksaan Mri Tumor Otak: Perbandingan Sekuens Spin Echo Dan Fast Spin Echo Pada T1 Post Kontras Dengan Mri 0,3 Tesla". Dari penelitian ini diharapkan akan diketahui sekuens mana yang lebih baik dalam penggambaran citra T1 post kontras, sehingga akan berguna bagi radiografer dalam pemilihan pulse sekuens untuk menghasilkan citra post kontras yang memberikan informasi yang maksimal.

## 2. Metode Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah kualitatif dengan pendekatan eksperimen. Penelitian dilaksanakan di Instalasi Radiologi RS. Telogorejo Semarang pada bulan September sampai dengan Desember 2011.

Tiga puluh orang pasien MRI tumor otak diambil sebagai sampel secara aksidensial. Citra post kontras dibuat dengan menggunakan Sekuen T1 *Weighted Spin Echo* dan T1 *Weighted Fast Spin Echo*. Parameter yang digunakan adalah parameter standar pada pesawat MRI Hitachi Airis Elite yang dapat

menghasilkan citra terbaik. Secara lengkap protokol pencitraan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Protokol pencitraan MRI Kepala (Brain MRI)

PARAMETER	T1 W SE	T1 W FSE
TR	350 ms	820 ms
TE	120 ms	15 ms
FOV	220 mm	220 mm
Slice Thickness	7 mm	7 mm
Interslice	8 mm	8 mm
NEX	4	4
ETL	-	2
Matriks	256 x 256	256 x 256
Bandwidth	15 kHz	15 kHz
Flip Angle	90°	90°
Scan time	5:58	4:09

Penilaian dilakukan dengan membandingkan informasi citra, yaitu kelainan yang tampak, visualisasi *enhance, margin* (batas tepi) tumor, *soft tissue* di sekitar tumor dan informasi tentang adanya *blurring/artefak* dari satu irisan yaitu irisan axial dari citra Sekuen T1 *Weighted Spin Echo* dan Sekuen T1 *Weighted Fast Spin Echo*. Penilaian dilakukan oleh tiga dokter spesialis radiologi yang berpengalaman dalam menganalisa citra MRI dengan pemberian skor. Skor 3 berarti "jelas", diberikan apabila organ yang diamati tampak jelas, berbatas tegas dan mudah dilihat oleh observer. Skor 2 berarti "kurang jelas" diberikan apabila organ yang diamati tampak, mudah dilihat, namun tidak berbatas. Skor 1 berarti "tidak jelas", yaitu bila organ yang diamati tidak mudah dilihat dan tidak berbatas tegas. Untuk penilaian terhadap artefak, skor 1 diberikan jika tampak artefak, skor 2 diberikan apabila tidak tampak artefak, tetapi tidak sebanyak pada skor 1, dan skor 3 diberikan apabila tidak tampak artefak pada citra.

Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil penilaian responden yang diperkuat dengan uji statistik Mann-Whitney untuk pengujian terhadap hipotesa dan analisa deskriptif dengan tabulasi silang untuk melihat tingkat perbedaan terlihatnya informasi citra dan artefak. Analisis statistik ditetapkan tingkat

kepercayaan 0,5. Ho ditolak apabila p value < 0,5, yang berarti ada perbedaan informasi antara citra pembobotan T1 *Weighted Spin Echo* dan pembobotan T1 *Weighted Fast Spin Echo*. Ho diterima apabila p value > 0,5, yang berarti tidak ada perbedaan informasi antara citra pembobotan T1 *Weighted Spin Echo* dan pembobotan T1 *Weighted Fast Spin Echo*. Sekuen yang lebih baik dalam menghasilkan informasi citra ditentukan dengan jumlah rata-rata skor hasil penilaian dan dengan analisa deskriptif menggunakan tabulasi silang.

### 3. Hasil

Tabel 2. Hasil Penilaian Responden terhadap Informasi Citra post kontras T1 *Weighted Spin Echo* dan T1 *Weighted Fast Spin Echo*

Obyek	T1 Weighted SE	T1Weighted FSE
Kelainan yang tampak	R1	78
	R2	78
	R3	77
	Rata-rata	77,7
Visualisasi enhance	R1	78
	R2	76
	R3	77
	Rata-rata	77
Visualisasi batas tepi (margin)	R1	75
	R2	69
	R3	74
	Rata-rata	72,7
Soft tissue di sekitar tumor	R1	88
	R2	86
	R3	88
	Rata-rata	87,3
Adanya gambaran artefak/ blurring	R1	79
	R2	79
	R3	83
	Rata-rata	80,3
Mengganggu / tidak nya gambaran artefak	R1	34
	R2	33
	R3	30
	Rata-rata	32,3

Dari tabel di atas, dapat diketahui adanya perbedaan bermakna informasi citra T1 *Weighted Spin Echo* dengan jumlah rata-rata masing-masing item pertanyaan tentang informasi citra yang lebih tinggi dari pada T1 *Weighted Fast Spin Echo*.

Hasil tabulasi silang terhadap informasi citra antara Sekuen T1 *Weighted*

*Spin Echo* dan Sekuen T1 *Weighted Fast Spin Echo* ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 3 Hasil Tabulasi Silang terhadap Penilaian Informasi Citra T1 *Weighted Spin Echo* dan T1 *Weighted Fast Spin Echo* (dalam persen)

Objek (%)	Jelas		Kurang jelas		Tidak jelas	
	SE	FS E	SE	FSE	SE	FSE
Kelainan yang tampak	64,4	45,6	30	51,1	5,6	3,3
visualisasi enhance	57,8	54,4	41,1	41,1	1,1	4,4
visualisasi batas tepi (margin)	55,6	50	31,1	37,8	13,3	12,2
soft tissue di sekitar tumor	93,3	80	4,4	20	2,2	0
adanya gambaran artefak/ blurring	8,9	60	14,4	13,3	76,7	26,7
		Mengganggu		Tidak Mengganggu		
		u		u		
		SE	FS E	SE	FSE	
Mengganggu / tidaknya gambaran artefak	7,8	14,4	92,2	85,6		

Hasil-hasil tersebut diperkuat dengan uji statistik Mann Withney untuk mengetahui adanya perbedaan informasi citra antara Sekuen T1 *Weighted Spin Echo* dan Sekuen T1 *Weighted Fast Spin Echo* ditunjukkan pada tabel berikut ini

Tabel 4 Hasil Keputusan terhadap Uji Beda Mann Whitney

Objek	p value	Makna
Kelainan yang tampak	0,024	Ho ditolak Ada beda yang signifikan
Visualisasi enhance	0,530	Ho diterima Tidak ada beda
Visualisasi margin	0,578	Ho diterima Tidak ada beda
Soft tissue di sekitar tumor	0,011	Ho ditolak Ada beda yang signifikan
artefak	0,000	Ho ditolak Ada beda yang signifikan

Berdasarkan uji beda yang dilakukan pada lima objek pada citra MRI

tumor otak, dapat diketahui bahwa tiga dari lima objek tersebut didapat data bahwa  $H_0$  ditolak, yang berarti ada perbedaan informasi citra post kontras T1 *Weighted Spin Echo* dan T1 *Weighted Fast Spin Echo*.

Dari tabel rangking uji Mann Whitney diketahui bahwa nilai total nilai untuk citra sekuens spin echo adalah 313772,00 dan total nilai citra sekuens fast spin echo adalah 269968,00. Maka tampak bahwa fast spin echo mempunyai nilai yang lebih rendah dibanding spin echo. Dengan demikian secara statistik terbukti bahwa informasi citra dengan sekuens spin echo berbeda dari informasi citra dengan sekuens fast spin echo dengan  $p$  value 0,000 ( $p < 0,5$ ).

#### 4. Pembahasan

##### *Informasi Tumor Otak pada Citra Post Kontras.*

Secara deskriptif hasil analisis untuk informasi tentang kelainan atau patologi adalah lebih jelas terlihat pada citra sekuens spin echo dibanding dengan pada citra fast spin echo. Pada analisis secara statistik tampak bahwa memang ada beda yang signifikan dengan  $p$  value 0,024 ( $p < 0,5$ ) antara kedua sekuens dalam menampilkan adanya kelainan atau patologi. Hal ini disebabkan karena secara umum pada citra T1 *Weighted Fast Spin Echo* terdapat adanya *image blurring* yang dapat menurunkan ketajaman citra secara keseluruhan, sehingga kelainan lebih jelas terlihat pada citra T1 *Weighted Spin Echo*.

Visualisasi *enhance* atau penyngatan media kontras, dari analisis secara deskriptif tampak bahwa citra dengan sekuens spin echo lebih jelas dalam menampilkan informasi tumor sesudah pemberian media kontras. Pada analisis secara statistik tidak ada perbedaan yang bermakna, dengan  $p$  value 0,530 ( $p > 0,5$ ). Ini dapat dipahami karena kualitas citra post kontras dipengaruhi oleh biodistribusi substansi media kontras dalam jaringan dan parameter pulse sekuens yang digunakan (RMIT University, 1999). Pada tumor terjadi peningkatan vaskularisasi, ini menyebabkan meningkatnya biodistribusi substansi media kontras pada tumor, yang

menjadikan gambaran tumor pada citra menjadi *enhance* atau terang. Menurut Westbrook (1998), tujuan pemberian media kontras adalah untuk meningkatkan CNR (*Contrast to Noise Ratio*) antara jaringan patologis dengan anatomi normal. Sekuens Spin Echo menghasilkan citra dengan CNR yang lebih tinggi dibanding citra fast spin echo karena tingginya SNR yang dihasilkan.

Visualisasi batas tepi (*margin*) tumor secara statistik tidak berbeda, dengan  $p$  value 0,578 ( $p > 0,5$ ), pada kedua citra post kontras, hal ini disebabkan karena penampakan media kontras pada citra post kontras tidak dipengaruhi oleh sekuens yang dipergunakan tapi tergantung pada tipe tumor, lokasi tumor, dan waktu pengambilan citra post kontrasnya (Bushong, 1996).

Visualisasi *soft tissue* atau jaringan lunak di sekitar tumor berbeda pada kedua citra post kontras, dalam analisa statistik didapatkan  $p$  value 0,011 ( $p < 0,5$ ). Hal ini disebabkan karena SNR yang lebih tinggi pada citra dengan sekuens spin echo akan membuat kontras citra juga lebih tinggi sehingga gambaran *soft tissue* akan lebih jelas. Pemilihan tipe pulse sekuens yang digunakan berpengaruh pada SNR karena berkaitan dengan pemilihan scan parameter seperti *Time Repetition (TR)*, *Time Echo (TE)*, *Time Inversion (TI)* dan *Flip angle* (Woodward dan Orisson, 1997).

##### *Artefak atau Kekaburan (Blurring)*

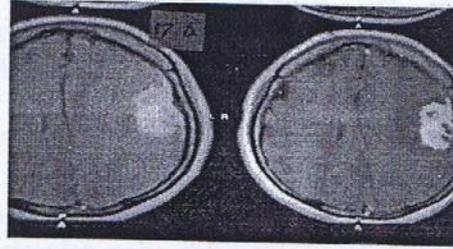
Pada pertanyaan kuesioner yang kelima tentang tampak atau tidak tampaknya artefak pada kedua citra post kontras, dari analisis statistik tampak bahwa ada perbedaan, dengan  $p$  value 0,000 ( $p < 0,5$ ), antara kedua citra post kontras. Secara deskriptif tampak bahwa pada citra dengan sekuens Fast spin echo, artefak lebih tampak jelas dibanding pada citra dengan sekuens spin echo. Hal ini disebabkan adanya *Effective Time Echo (ETE)*, *Echo Train Spacing (ETS)* dan *Echo Train Length (ETL)* atau *Turbo factor* pada citra sekuens Fast spin echo. Yang ketiganya berperan pada kemungkinan terjadinya kekaburan atau

*blurring* pada citra fast spin echo. *Blurring* disebabkan karena penggunaan *Echo Train Length* (ETL) pada *Fast Spin Echo* (Woodward, 1995; Westbrook dan Kaut 1998). ETL digunakan agar dapat dilakukan pengisian lebih dari satu *k-space line* dalam satu kali *Time Repetition* (TR), sehingga citra terbentuk oleh lebih dari satu TE. *Echo* dengan amplitudo tinggi akan mengisi pusat *k-space* dan menentukan kontras (pembobotan) citra secara keseluruhan. *Echo* dengan amplitudo sinyal rendah akan mengisi tepi *k-space* yang merupakan penentu ketajaman gambar Hashemi dkk (2010). Kontras citra diperoleh dengan mengatur TE efektif, yaitu TE yang akan menghasilkan *echo* dengan amplitudo tertinggi. Pada pembobotan T1, TE efektif diatur sependek mungkin untuk meminimalisir kontras T2. *Echo* yang menentukan ketajaman gambar merupakan *echo* yang memiliki amplitudo lebih rendah dan mengalami *signal loss* lebih besar dibanding *echo* yang berasal dari TE efektif. *Signal loss* inilah yang menyebabkan terjadinya *image blurring* pada penggunaan ETL (Smith dan Lange, 1998).

Parameter ETE dan ETS tidak dapat diubah oleh operator, maka banyak sedikitnya artefak ditentukan oleh pemilihan ETL atau *Turbo factor* pada pencitraan fast spin echo. Semakin besar ETL, maka artefak akan semakin banyak. Pada analisa dengan cara statistik dan deskriptif tampak bahwa perbedaan antara kedua citra tidak terlalu tinggi karena ETL yang digunakan nilainya tidak terlalu besar yaitu 2, sehingga artefak yang terjadi tidak terlalu berpengaruh. Data tersebut dikuatkan dengan hasil jawaban responden pada pertanyaan keenam dimana 85,6 % responden menilai bahwa artefak pada citra fast spin echo tidak mengganggu.

Secara keseluruhan dari total nilai skor yang didapat dari lima pertanyaan kuesioner, tampak bahwa secara statistik terbukti bahwa ada perbedaan antara informasi citra pembobotan T1 post kontras yang dibuat dengan menggunakan sekuens spin echo dan fast spin echo. Dengan demikian terbukti bahwa kualitas citra post

kontras dipengaruhi oleh parameter pulse sekuens yang digunakan (RMIT University, 1999).



Gbr. 2 contoh citra perbandingan SE dan FSE

#### Waktu Scanning

Perbedaan yang signifikan namun tidak dianalisis secara statistik maupun deskriptif adalah waktu *scanning* atau *scanning time* yang digunakan. Pembuatan citra pembobotan T1 dengan sekuens fast spin echo mempunyai waktu *scanning* yang lebih cepat dibanding sekuens spin echo. Pada citra fast spin echo waktu *scan* yang digunakan adalah 4 menit 09 detik sedangkan pada pembuatan citra spin echo waktu *scanning*nya adalah 5 menit 58 detik.

## 5. Simpulan dan Saran

### Simpulan

Secara statistik maupun deskriptif tampak bahwa ada perbedaan antara informasi citra post kontras pembobotan T1 yang dibuat dengan sekuens spin echo dan fast spin echo. Secara statistik, uji Mann Whitney mendapatkan *p value* 0,000 ( $p < 0,5$ ) yang berarti ada perbedaan antara informasi citra T1 post kontras spin echo dan fast spin echo.

Perbedaan informasi citra pembobotan T1 post kontras dengan sekuens spin echo dan fast spin echo terutama adalah pada adanya artefak yang disebabkan karena keaburan atau *blurring* yang terlihat pada citra fast spin echo dimana artefak ini juga berpengaruh pada visualisasi *soft tissue* atau jaringan lunak disekitar tumor, sedangkan pada visualisasi *enhance* atau penyngatan dan batas tepi (*margin*) tumor pada citra post kontras

dengan kedua sekuens, tidak ditemukan adanya perbedaan.

### Saran

Mengingat adanya keterbatasan pada sekuens fast spin echo, sebaiknya pemilihan pulse sekuens untuk menampilkan citra T1 post kontras lebih selektif, dengan memperhitungkan hasil informasi citra yang akan didapat.

Agar kekaburan atau blurring yang terjadi tidak mengganggu informasi citra, maka disarankan agar pada pembuatan citra post kontras pembobotan T1 fast spin echo dipilih ETL atau turbo factor yang tidak terlalu tinggi.

Dengan pertimbangan bahwa perbedaan waktu antara pembuatan citra spin echo dan fast spin echo tidak terlalu jauh berbeda, maka sebaiknya pembuatan citra post kontras dilakukan dengan menggunakan sekuens spin echo konvensional. Hal ini mengingat sekuens fast spin echo, sekalipun menggunakan ETL minimal yaitu 2, tetap menunjukkan adanya artefak atau *blurring* yang dapat mengurangi nilai citra yang dihasilkan.

## 6. Ucapan Terimakasih

Ucapan banyak terimakasih disampaikan atas kesempatan yang diberikan untuk mendapatkan Dana Risbnakes DIPA Politeknik Kesehatan Kemenkes Semarang, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

## 7. Daftar Pustaka

- R. Burke, E. 2008. Spinal Cord. diakses dari [www.scholarpedia.org](http://www.scholarpedia.org) pada 2 Juni 2011.
- Bontrager, L. and Kenneth . 2001. Textbook of Radiographic positioning and related anatomy, Mosby, Inc, missourry, USA.
- Bushong, and Stewart, C. 1995. MRI physical and biological Principle, Mosby Yearbook, Inc, USA.
- Carlton, R. Richard and Adler, M.A. 2001. Principle of radiographic Imaging: an art and science, Thompson Learning, USA.
- Dort, C Joseph; Sadler, David; Hu, William; Wallace, Forge; Carla, La Piere; Servick, and Robert. 2001. Screening for Cerebellopontine angle Tumours: Conventional MRI vs Fast Spin Echo MRI. diakses dari [www.cjns.org](http://www.cjns.org) pada 7 Maret 2011.
- Hashemi, Ray Hasman; Bradley, William G; Lisanti, and Christopher J. 2010. MRI The Basic: Third Edition. Lippincot William&Wilkins: Philadelphia.
- Hornak, P. and Joseph. 2002. The basic of MRI [www.cis.rit.edu/htbooks/mri/inside.htm](http://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/inside.htm).
- Katzberg, and Richard, W. 1992. The Contrast Media Manual, Williams and walkins, Maryland, USA.
- King, AD., lam, WW., Leung, SF., Chan, YL., and Metreweli, C. 1997. Comparison of T2W fat supressed turbo spin echo and contrast enhanced T1W spin echo MRI in nasopharyngeal carcinoma, [www.birjournals.org/cgi/content/abstract/70/840/1208](http://www.birjournals.org/cgi/content/abstract/70/840/1208).
- Liney, P. and Gary. 2005. Magnetic Resonance Imaging, [www.hull.ac.uk/mri/lectures/gpl\\_page.html](http://www.hull.ac.uk/mri/lectures/gpl_page.html).
- Moller, and Torsten, B. 2003. MRI Parameters and Positioning. Thieme: Germany.
- Moller, and Torsten, B. 2008. Normal Findings in MRI. CIC.
- Moller, Torsten B and Reif, E. 2007. Pocket Atlas of Sectional Anatomy. Thieme: Germany.
- Sulistiyadi, H. 2011. Perbandingan informasi citra sekuen T1 Weighted Spin Echo dan sekuen T1 Weighted fast Spin Echo pada pemeriksaan Magnetic Resonance Imaging Lumbal irisan sagital. Poltekkes Kemenkes Semarang: Semarang.
- Nessavir, M. 1996. All You Really Need to Know About MRI Physic. Harbor Duvall Graphics: USA.

- Notosiswoyo, M. dan Suswati, S. 2004. Pemanfaatan Magnetic Resonance Imaging (MRI) sebagai Sarana Diagnosa Pasien, artikel pada Media Litbang Kesehatan Volume XIV Nomor 3. diakses dari [www.google.com](http://www.google.com) pada tanggal 2 Maret 2011.
- RMIT University. 1999. Module 4: MRI contrast Media, [www.bh.rmit.edu.au/mrs/subject/mri/gd/mr803/module4/mr803\\_4.html](http://www.bh.rmit.edu.au/mrs/subject/mri/gd/mr803/module4/mr803_4.html).
- Snopek, M.A. 1992. Fundamentals of special radiographic Procedures, W.B Sanders Company, Mexico.
- Smith, C.R. and Lange, C.R. 1998. Understanding MRI. CRC Press: New York.
- Sugahara, Takeshi; Korogi, Yukunori; Ge, Yulin, Shigematsu Yoshinori; Liang, Luxia; Yoshizumi, Kazuhiro; Kitajima, Mika; Takahashi, and Mutsumasa. 1999. Contrast Enhancement of Intracranial Lesions: Conventional T1-Weighted Spin Echo versus Fast Spin Echo MR Imaging Techniques: American Journal of Neuro-Radiologi edisi ke 20. Diakses dari [www.ajnr.org](http://www.ajnr.org) pada 2 Juni 2011.
- Westbrook, C. 1999. Handbook of MRI Technique. Blackwell Science LTD: London
- Westbrook, C and Kaut, C. 1998. MRI in Practice. Blackwell Science LTD: London.
- Woodward, P. and Freimarck, D.R. 1995. MRI for technologist, mcGraw-Hill, inc. USA.
- Worthington, S.B. 2001. Magnetic Resonance Imaging, [www.els.net/els/public/article/article\\_main.asp?id](http://www.els.net/els/public/article/article_main.asp?id).