



ANALISIS PENGARUH DAN OPTIMALISASI NILAI *FULL WIDTH AT HALF MAXIMUM* (FWHM) TERHADAP SPEKTRUM METABOLIT METODE MULTI-VOXEL MAGNETIC RESONANCE SPECTROSCOPY (MRS)

Fannisa Rahma Pradika¹, Hernastiti Sedyta Utami^{2*}, Aрга Pratama Rahardian³, Lutfatul Fitriana⁴, Putri Susilowati⁵

^{1,2,3,4}Program Studi Teknologi Radiologi Pencitraan, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

⁵Instalasi Radiologi RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo
fannisarahmaaa@gmail.com

Abstrak

Full Width at Half Maximum (FWHM) merupakan indikator penting dalam *Magnetic Resonance Spectroscopy* (MRS) karena memengaruhi kualitas spektrum metabolit dan berpengaruh terhadap akurasi kuantifikasi metabolit. Hingga saat ini belum diketahui secara pasti rentang nilai FWHM optimal untuk metode multi voxel. Tujuan penelitian ini menganalisis pengaruh variasi nilai FWHM terhadap spektrum metabolit serta menentukan nilai FWHM optimal untuk memperoleh spektrum dengan kualitas terbaik. Sampel penelitian sebanyak 12 pasien MRS brain menggunakan MRI 1,5T dengan variasi FWHM (10–14 Hz, 15–18 Hz, 20–22 Hz, dan 23–25 Hz). Nilai integral metabolit N-Acetyl Aspartate (NAA), Creatine (Cr), dan Choline (Cho) dianalisis menggunakan uji Shapiro-Wilk, Levene's test, One-Way ANOVA, dan Kruskal-Wallis. Wawancara terhadap observer untuk mengetahui pengaruh FWHM terhadap spektrum. Hasil menunjukkan bahwa variasi nilai FWHM tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai integral NAA ($p = 0,993$), Cr ($p = 0,399$), dan Cho ($p = 0,492$). Namun, berdasarkan hasil uji statistik deskriptif nilai integral metabolit, rentang FWHM 15–18 Hz memberikan hasil spektrum yang lebih stabil. Meskipun tidak signifikan secara statistik terhadap nilai integral metabolit, rentang FWHM 15–18 Hz direkomendasikan sebagai nilai optimal untuk memperoleh kualitas spektrum terbaik pada MRS multi voxel.

Kata Kunci: *Magnetic Resonance Spectroscopy*, FWHM, Spektrum Metabolit, Multi Voxel

Abstract

Full Width at Half Maximum (FWHM) is an important indicator in *Magnetic Resonance Spectroscopy* (MRS) because it affects the quality of the metabolite spectrum and affects the accuracy of metabolite quantification. Until now, the optimal FWHM value range for the multi-voxel method is not yet known. The purpose of this study was to analyze the effect of variations in FWHM values on the metabolite spectrum and to determine the optimal FWHM value to obtain the best quality spectrum. The study sample was 12 MRS brain patients using 1.5T MRI with variations in FWHM (10–14 Hz, 15–18 Hz, 20–22 Hz, and 23–25 Hz). The integral values of the metabolites N-Acetyl Aspartate (NAA), Creatine (Cr), and Choline (Cho) were analyzed using the Shapiro-Wilk test, Levene's test, One-Way ANOVA, and Kruskal-Wallis. Interviews with observers to determine the effect of FWHM on the spectrum. The results showed that the variation of FWHM values did not significantly affect the integral values of NAA ($p = 0.993$), Cr ($p = 0.399$), and Cho ($p = 0.492$). However, based on the results of descriptive statistical tests of metabolite integral values, the FWHM range of 15–18 Hz provided more stable spectrum results. Although not statistically significant to the metabolite integral value, the FWHM range of 15–18 Hz is recommended as the optimal value to obtain the best spectrum quality in multi-voxel MRS.

Keywords: *Magnetic Resonance Spectroscopy*, FWHM, Metabolite Spectrum, Multi Voxel

@Jurnal Ners Prodi Sarjana Keperawatan & Profesi Ners FIK UP 2025

✉ Corresponding author :

Address : Universitas Muhammadiyah Purwokerto, Jl. KH. Ahmad Dahlan, Banyumas

Email : hernastitisedyautami@ump.ac.id

Phone : +6285742625601

PENDAHULUAN

Magnetic Resonance Spectroscopy (MRS) merupakan teknik pencitraan non-invasif dalam pemeriksaan *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) yang digunakan untuk mendeteksi metabolit di dalam jaringan, serta mengidentifikasi molekul tertentu yang dapat berfungsi sebagai penanda adanya keganasan tumor. (Chandra et al., 2024). Pemeriksaan MRS dikerjakan setelah dilakukan pemeriksaan morfologi MRI pada area tertentu pada otak dengan meletakkan voxel di area patologis dan normal dari parenkim otak. MRS akan memberikan tambahan informasi mengenai metabolisme dari area tertentu yang sudah kita tentukan pada daerah otak yang kita inginkan (Kousi et al., 2012). Prinsip dasar metode ini adalah merekam serta menganalisis sinyal dari metabolit jaringan, yang muncul sebagai puncak metabolik (*peak*) akibat pergeseran frekuensi (*frequency shift*) yang dinyatakan dalam satuan *parts per million* (ppm) (Barker et al., 2009).

Output dari pemeriksaan MRS adalah nilai puncak (*peak*) dari beberapa konsentrasi metabolit unsur kimia dengan satuan *parts per million* (ppm) yang merefleksikan proses seluler dan biokimia yang terjadi. Unsur kimia yang umumnya diukur pada pemeriksaan MRS pada klinis brain tumor adalah *N-Acetyl aspartate* (NAA), *creatine* (Cr), *choline* (Cho), *lipids* (Lip), dan *lactate* (Lac) (Hulmansyah et al., 2020). Menurut Juchem & de Graaf (2017), keunggulan MRS terletak pada kuantifikasi relatif yang akurat dari metabolit seperti *choline* (Cho), *creatine* (Cr), *asam N-asetil-aspartat* (NAA), *myoinositol* (M- ins), *lactate* (Lac), *asam glutamat* (Glu), dan metabolit lainnya.

Metode *multi-voxel spectroscopy* (juga dikenal sebagai *Chemical Shift Imaging*/CSI) menawarkan keunggulan dibandingkan metode *single-voxel* karena dapat mengukur distribusi metabolit dari banyak area secara simultan. Namun, kompleksitas pengolahan data *multi voxel* lebih tinggi dan rentan terhadap *variabilitas* teknis, termasuk *fluktuasi* nilai FWHM antar voxel, yang dapat mempengaruhi homogenitas data metabolit yang diperoleh (Lin et al., 2021). Pada Teknik *multi voxel* didapatkan *heterogenitas spasial* tumor otak yang lebih baik. Kelebihan teknik ini dapat mendeteksi beberapa nilai metabolit dari susunan lokasi *multi dimensi*, memberikan informasi jaringan di sekitar, dan menganalisis beberapa heterogenitas tumor pada waktu yang bersamaan (Tsougos, 2017).

Pada teknik *Multi Voxel Spectroscopy* (MVS) dengan *Chemical Shift Imaging* (CSI) berfungsi untuk menekan spektrum lemak dan air. CSI *matriks* ditempatkan pada area lesi dengan mengatur semua area lesi, area pinggir lesi, area odema sekitar lesi, dan jaringan normal disekitar lesi tercover secara *kontra lateral*. Penempatan CSI *matriks* harus menghindari area udara dan

tulang agar tidak mempengaruhi hasil spektrum metabolit tumor (Susilowati & Nurmayanti, 2020).

Full Width Half Maximum (FWHM) adalah lebar spektrum pada setengah amplitudo sinyal yang merupakan salah satu penanda kualitas *shimming*. Jika *shimming* tidak optimal maka puncak spektrum akan melebar sehingga FWHM akan meningkat menyebabkan kuantifikasi dari metabolit akan sulit untuk dilakukan karena *spektral linewidth* akan tampak tumpang tindih (Zeinali-Rafsanjani et al., 2018). Nilai FWHM yang lebih rendah menunjukkan resolusi spektrum yang lebih baik, yang pada akhirnya akan berdampak pada akurasi kuantifikasi metabolit (Reyngoudt et al., 2012). Salah satu faktor krusial yang memengaruhi kualitas dan ketepatan hasil spektrum dalam MRS adalah FWHM. Nilai FWHM yang rendah menunjukkan spektrum yang tajam dan resolusi yang tinggi, memungkinkan pemisahan sinyal metabolit yang lebih baik serta meningkatkan akurasi kuantifikasi metabolit (Posse et al., 2013).

Menurut penelitian Mayani & Wibowo (2011), Nilai FWHM yang optimal berkisar antara 12 hingga 20, yang umumnya diperoleh dari ukuran *Region of Interest* (ROI) sebesar 20–30 mm yang ditempatkan pada area pusat medan magnet. Kondisi ini sejalan dengan prinsip *susceptibility magnetik* dan ketidakhomogenan medan B_0 , di mana area isosenter cenderung memiliki tingkat homogenitas medan magnet yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh B_0 *inhomogeneity* dan *susceptibility*. Sesuai teori yang dikatakan Blüml & Panigrahy (2013), Semakin besar ukuran *Region of Interest* (ROI) yang ditetapkan, maka jumlah metabolit yang tercakup di dalamnya juga akan meningkat. Kondisi ini menyebabkan penurunan nilai *Free Induction Decay* (FID), yang memiliki hubungan berbanding terbalik dengan nilai *Full Width at Half Maximum* (FWHM). Akibatnya, penurunan FID akan berdampak pada peningkatan nilai FWHM yang dihasilkan. FWHM yang diinginkan pada perangkat MRS 1,5 dan 3 T masing-masing kurang dari 15 dan 30 Hz (Reilly & Webb, 2015). Sedangkan menurut Susilowati & Nurmayanti (2020), FWHM digunakan sebagai parameter untuk menilai homogenitas voxel dan idealnya dijaga di bawah nilai 15. Hal ini penting agar spektrum yang dihasilkan akurat, ditandai dengan bentuk spektrum yang tajam serta terpisahnya bagian bawah kurva antara puncak *choline* dan *creatine*. Tinggi puncak spektrum mencerminkan konsentrasi masing-masing metabolit. Semakin kecil nilai FWHM, maka kualitas spektrum yang dihasilkan akan semakin baik. Sebaliknya, nilai FWHM yang tinggi akan menurunkan resolusi spektrum, menyebabkan puncak menjadi melebar dan menyulitkan dalam membedakan sinyal antar metabolit (Icha et al., 2024).

Meskipun FWHM telah dikenal sebagai indikator penting dalam kualitas spektrum MRS, hingga saat ini belum ada studi yang secara khusus

menganalisis pengaruh variasi nilai FWHM terhadap spektrum metabolit pada metode multi-voxel, terutama dalam konteks pemeriksaan klinis menggunakan MRI 1,5 Tesla. Ketidakpastian mengenai rentang FWHM optimal ini menjadi celah penelitian yang perlu dijawab untuk mendukung standarisasi protokol akuisisi dan peningkatan akurasi kuantifikasi metabolit pada MRS multi voxel sehingga tujuan penelitian ini untuk menganalisa pengaruh rentang nilai FWHM terhadap spektrum metabolit dan nilai FWHM yang optimum untuk penilaian kualitas spektrum metabolit dalam pemeriksaan MRS.

METODE

Penelitian ini merupakan studi kuantitatif dengan pendekatan eksperimental yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi nilai FWHM terhadap nilai spektrum metabolit pada MRS metode multi voxel. Data diperoleh dari 12 spektrum metabolit pasien yang menjalani pemeriksaan MRI brain kontras dengan tambahan sekuens MRS di RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo. Pemeriksaan dilakukan menggunakan MRI Siemens Aera 1,5 Tesla dengan protokol MRS CSI_SE_135, parameter TE 135 ms, TR 1500 ms, NSA 4, dan ukuran voxel 10,0 × 10,0 × 15,0 mm³.

Setiap sampel dikelompokkan berdasarkan rentang nilai FWHM menjadi empat kelompok: 10–14 Hz, 15–18 Hz, 20–22 Hz, dan 23–25 Hz, masing-masing terdiri dari tiga sampel. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah nilai FWHM, sedangkan variabel terikat adalah nilai integral dari tiga jenis metabolit utama: *N-Acetyl Aspartate* (NAA), *Creatine* (Cr), dan *Choline* (Cho).

Nilai integral metabolit diperoleh langsung dari aplikasi SpectroView pada sistem komputer MRI Siemens. Perangkat lunak ini secara otomatis menghitung luas puncak (*area under the curve*) masing-masing metabolit berdasarkan hasil akuisisi spektrum. Data kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak SPSS 25. Uji normalitas dilakukan dengan *Shapiro-Wilk* karena jumlah sampel per kelompok kurang dari 50. Uji homogenitas varians dilakukan dengan *Levene’s Test*. Data yang memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas dianalisis menggunakan uji *One-Way ANOVA*, sedangkan data yang tidak memenuhi salah satu asumsi tersebut dianalisis menggunakan uji non-parametrik *Kruskal-Wallis*. Metode wawancara terhadap dua dokter spesialis radiologi sebagai observer penelitian dilakukan untuk mengetahui persepsi terhadap kualitas spektrum metabolit pada masing-masing rentang FWHM serta dampaknya terhadap kemudahan interpretasi. Hasil wawancara dianalisis secara deskriptif untuk memperoleh kesimpulan dan saran terkait rentang FWHM yang paling optimal dalam praktik klinis MRS multi voxel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

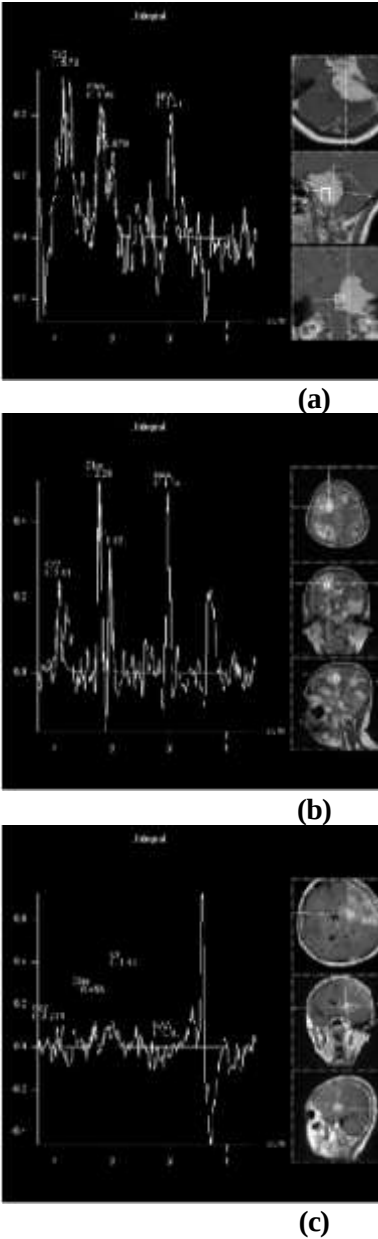
Pengukuran nilai metabolit dengan menggunakan MRS akan menghasilkan grafik metabolit dan nilai metabolit terukur. Penelitian ini dilakukan pada pasien yang melakukan pemeriksaan MRI Brain kontras dengan tambahan MRS di RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi yaitu sebanyak 12 sampel menggunakan pesawat MRI 1.5 Tesla.

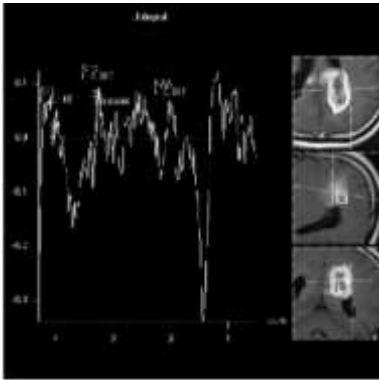
Table 1. Deskripsi sampel berdasarkan jenis kelamin

Jenis Kelamin	Jumlah	Presentase %
Pria	7	58,33%
Wanita	5	41,67%
Total	12	100,00%

Berdasarkan Tabel 1, sampel dalam penelitian ini berjumlah 12 pasien, terdiri dari 7 pasien pria (58,33%) dan 5 pasien wanita (41,67%). Setiap sampel diklasifikasikan ke dalam 4 kelompok nilai FWHM untuk dianalisis nilai metabolitnya.

Berikut merupakan hasil spektrum pada variasi rentang nilai FWHM yang ditunjukkan pada Gambar 1.





Gambar 1. Spektrum Metabolit pada Rentang FWHM 10-14 Hz (a), spektrum Metabolit pada rentang FWHM 15-18 Hz (b), spektrum Metabolit pada rentang FWHM 20-22 Hz (c) dan spektrum metabolit pada rentang FWHM 23-25 Hz (d). Pada spektrum metabolit FWHM 15-18 (b) tampak nilai lebih optimal dan stabil dibandingkan dengan variasi rentang FWHM lainnya.

Berdasarkan hasil spektrum, amplitudo sinyal pada MRS merepresentasikan spektrum metabolit pada jaringan otak. Setiap spektrum memiliki karakteristik berupa tinggi puncak (*amplitudo*) dan lebar puncak, yang digunakan untuk mengukur konsentrasi metabolit dalam jaringan yang diperiksa. Pada rentang FWHM 10–14, puncak metabolit tampak lancip dan tegas tanpa adanya tumpang tindih (*overlap*) atau pelebaran, meskipun baseline spektrum pada sumbu “y” tidak rata dan tidak sejajar dengan nilai nol. Pada rentang FWHM 15–18, puncak metabolit juga terlihat lancip dan tegas tanpa tumpang tindih antara *Creatine* (Cr) dan *Choline* (Cho), dengan baseline spektrum yang lebih datar dan sejajar dengan sumbu “y” bernilai nol. Pada rentang FWHM 20–22, puncak Cr tampak lebih melebar, namun baseline spektrum tetap datar. Sedangkan pada rentang FWHM 23–25, terjadi tumpang tindih puncak antara Cr dan Cho, yang dapat mengganggu interpretasi spektrum.

Tabel 2. Uji statistik deskriptif nilai integral metabolit pada variasi FWHM

Metabolit	Nilai FWHM			
	10-14	15-18	20-22	23-25
NAA	1.65±	1.88±	2.19±	1.62±
	0.26	1.57	2.53	2.08
Creatine	1.90±	1.67±	3.91±	1.63±
	1.54	0.99	2.61	1.65
Choline	1.89±	3.93±	2.14±	2.70±
	0.42	1.47	2.13	2.10

Berdasarkan hasil uji statistik deskriptif nilai integral metabolit pada table 2, Nilai rata-rata dan Standard deviation (mean ± SD) dari masing-masing metabolit pada setiap kelompok FWHM menunjukkan variasi yang cukup jelas. Metabolit NAA memiliki nilai tertinggi pada FWHM 20–22

Hz (2,19 ± 2,53) dan terendah pada FWHM 23–25 Hz (1,62 ± 2,08). Untuk *Creatine*, nilai tertinggi juga terdapat pada FWHM 20–22 Hz (3,91 ± 2,61), sedangkan nilai terendah pada FWHM 23–25 Hz (1,63 ± 1,65). Sementara itu, metabolit *Choline* menunjukkan nilai tertinggi pada FWHM 15–18 Hz (3,93 ± 1,47) dan terendah pada FWHM 10–14 Hz (1,89 ± 0,42).

Tabel 3. Uji Normalitas, Data rentang nilai FWHM dan nilai metabolit spektrum

	FWHM	Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
NAA	10-14	0.974	3	0.691
	15-18	0.999	3	0.941
	20-22	0.959	3	0.613
	23-25	0.766	3	0.037
Cr	10-14	0.826	3	0.179
	15-18	0.800	3	0.115
	20-22	0.994	3	0.850
	23-25	0.996	3	0.880
Cho	10-14	0.980	3	0.729
	15-18	0.922	3	0.458
	20-22	0.916	3	0.440
	23-25	0.950	3	0.567

Pada Table 3 ditampilkan nilai uji normalitas pada setiap metabolit. Uji normalitas menggunakan *Shapiro-Wilk* menunjukkan bahwa data metabolit Cr dan Cho berdistribusi normal di semua kelompok FWHM (p > 0,05). Namun, pada metabolit NAA, tiga kelompok FWHM menunjukkan distribusi normal, sedangkan kelompok FWHM 23–25 Hz tidak normal (p = 0,037). Oleh karena itu, analisis terhadap NAA dilakukan dengan uji *Kruskal-Wallis*, sedangkan Cr dan Cho dianalisis menggunakan uji *One-Way ANOVA*.

Tabel 4. Uji homogenitas varians menggunakan Levene’s Test

	Levene Statistic	Sig.
Cr	0.452	0.724
Cho	0.534	0.677

Selanjutnya, uji homogenitas varians menggunakan *Levene’s Test* menunjukkan bahwa data *Creatine* dan *Choline* memiliki varians yang homogen, dengan nilai signifikansi masing-masing p = 0,724 dan p = 0,677 (p > 0,05). Dengan terpenuhinya asumsi normalitas dan homogenitas, maka data Cr dan Cho dianalisis menggunakan uji *One-Way ANOVA*.

Tab el 5. Uji Anova, Data Cr dan Cho

	Sum of squares	Df	ANOVA		
			Mean Square	F	Sig.
Cr	10.796	3	3.599	1.112	0.399

Cho 7.453 3 2.484 .878 0.492

Tabel 6. Uji Kruskal Wallis Data NAA Test Statistics^{a,b}

	NAA
Kruskal-Wallis H	.090
df	3
Asymp. Sig.	0.993

- a. Kruskal Wallis Test
- b. Grouping Variable:
FWHM

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada nilai *Creatine* (p = 0,399) maupun *Choline* (p = 0,492) antar kelompok FWHM. Hasil uji *Kruskal-Wallis* untuk NAA juga menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan (p = 0,993). Dengan demikian, variasi nilai FWHM tidak memberikan pengaruh yang bermakna secara statistik terhadap nilai integral ketiga metabolit yang dianalisis.

Pengaruh Nilai Full Weight Half Maximum (FWHM) Metode Multi Voxel terhadap Spektrum Nilai Metabolit

Full Width at Half Maximum (FWHM) merupakan salah satu parameter penting dalam *Magnetic Resonance Spectroscopy* (MRS) karena secara langsung merepresentasikan ketajaman puncak sinyal metabolit dalam spektrum. Semakin kecil nilai FWHM, maka puncak metabolit akan semakin tajam, dan sebaliknya, FWHM yang besar akan menghasilkan puncak yang lebih lebar dan tumpang tindih, sehingga dapat memengaruhi akurasi identifikasi dan kuantifikasi metabolit (Posse et al., 2013; Mullins et al., 2014). Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan (Zeinali-Rafsanjani et al., 2018) Jika *shimming* tidak optimal maka puncak spektrum akan melebar sehingga FWHM akan meningkat menyebabkan kuantifikasi dari metabolit akan sulit untuk dilakukan karena *spektral linewidth* akan tampak tumpang tindih. Salah satu faktor krusial yang memengaruhi kualitas dan ketepatan hasil spektrum dalam MRS adalah FWHM. Nilai FWHM yang rendah menunjukkan spektrum yang tajam dan resolusi yang tinggi, memungkinkan pemisahan sinyal metabolit yang lebih baik serta meningkatkan akurasi kuantifikasi metabolit (Posse et al., 2013).

Dalam penelitian ini, pengaruh variasi FWHM terhadap nilai *integral* metabolit dianalisis melalui uji statistik terhadap tiga jenis metabolit utama: N-Acetyl Aspartate (NAA), *Creatine* (Cr), dan *Choline* (Cho). Berdasarkan hasil uji *Kruskal-Wallis* terhadap metabolit NAA, diperoleh nilai signifikansi p = 0,993, yang menunjukkan tidak adanya perbedaan bermakna antar kelompok FWHM. Demikian pula, uji *One-Way ANOVA* terhadap nilai Cr dan Cho menghasilkan nilai p =

0,399 dan p = 0,492, yang juga menunjukkan tidak terdapat pengaruh signifikan variasi FWHM terhadap nilai integral kedua metabolit tersebut. Namun demikian, ketidaksignifikanan hasil ini tidak sepenuhnya menafsirkan peran FWHM dalam memengaruhi kualitas spektrum. Nilai FWHM juga sangat dipengaruhi oleh kondisi teknis akuisisi, termasuk kualitas *shimming*, homogenitas medan magnet, serta faktor-faktor fisiologis dari pasien (Reyngoudt et al., 2012). Temuan studi oleh Near et al., (2021), menekankan pentingnya homogenitas medan magnet (B₀) dalam memperoleh spektrum MRS yang berkualitas tinggi, di mana inhomogenitas dapat meningkatkan nilai FWHM dan mengurangi resolusi *spectral*.

Selain itu, penelitian oleh Bhogal et al., (2017), menunjukkan bahwa parameter pemrosesan MRS, termasuk FWHM, sangat memengaruhi kuantifikasi metabolit. Variasi dalam parameter pemrosesan dapat menyebabkan perbedaan signifikan dalam hasil kuantifikasi, bahkan ketika data mentah yang sama digunakan.

Oleh karena itu, standarisasi parameter pemrosesan, termasuk FWHM, sangat penting untuk memastikan konsistensi dan akurasi dalam studi MRS. Variasi nilai FWHM diketahui memengaruhi kualitas spektrum MRS, khususnya dalam hal ketajaman puncak dan pemisahan antar metabolit. Meskipun secara statistik tidak signifikan, rentang FWHM yang lebih rendah cenderung menghasilkan spektrum yang lebih stabil. Hal ini sesuai dengan prinsip bahwa nilai FWHM yang rendah mencerminkan resolusi frekuensi yang baik dan hasil *shimming* yang optimal.

Menurut pendapat dokter observer, selain FWHM yang berperan penting dalam menentukan ketajaman dan keakuratan spektrum pada MRS, jenis tumor juga menjadi faktor penentu dalam pola grafik spektrum metabolit yang dihasilkan. Perbedaan karakteristik biologis antara tumor yang berasal dari dalam jaringan otak (*internal*) dan yang berasal dari luar sistem saraf pusat (*eksternal*) menyebabkan variasi yang mencolok dalam tampilan spektrum. Tumor internal, seperti glioma, umumnya menunjukkan penurunan kadar N-acetylaspartate (NAA) akibat kerusakan neuron, serta peningkatan *Choline* (Cho) yang mencerminkan proliferasi sel tumor. Selain itu, keberadaan laktat dan lipid sering terdeteksi pada tumor yang bersifat agresif atau mengalami nekrosis. Sebaliknya, tumor *eksternal* seperti meningioma atau metastasis biasanya menampilkan puncak Cho yang tinggi tanpa disertai peningkatan NAA, karena jaringan tersebut tidak mengandung neuron. Keberadaan lipid dan laktat bervariasi tergantung pada sifat biologis dan derajat keganasan tumor.

Dengan demikian, pemahaman terhadap jenis tumor sangat penting dalam interpretasi spektrum MRS, karena tiap jenis tumor menunjukkan profil metabolit yang khas yang

dapat mendukung proses diagnosis, penentuan derajat keganasan, serta pemantauan terapi secara non-invasif.

Nilai Full Weight Half Maximum (FWHM) yang optimal untuk penilaian kualitas spektrum metabolit

Penentuan nilai FWHM yang optimal sangat penting dalam MRS untuk memastikan hasil spektrum yang memiliki resolusi tinggi, puncak yang tajam, serta baseline yang stabil. Dalam penelitian ini, meskipun hasil uji statistik tidak menunjukkan perbedaan signifikan, uji statistik deskriptif nilai integral metabolit memberikan gambaran nilai metabolit yang berguna untuk penentuan FWHM optimal.

Nilai *Choline* tertinggi dan relatif stabil ditemukan pada kelompok FWHM 15–18 Hz ($3,93 \pm 1,47$), sedangkan nilai tertinggi untuk NAA dan Cr berada pada kelompok 20–22 Hz, namun dengan SD yang tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun nilai integral tinggi, ketidakstabilan nilai antar sampel mengurangi keandalannya. Oleh karena itu, keseimbangan antara nilai tinggi dan kestabilan lebih terlihat pada kelompok FWHM 15–18 Hz, yang secara teknis juga mencerminkan hasil *shimming* yang baik.

Temuan Studi oleh Near et al., (2021), merekomendasikan bahwa nilai FWHM yang optimal untuk spektrum MRS berkualitas tinggi adalah di bawah 0,1 ppm (sekitar 12 Hz pada 3T), dengan nilai ideal sekitar 0,05–0,08 ppm (6–10 Hz). Sedangkan, menurut penelitian Mayani & Wibowo (2011), Nilai FWHM yang optimal berkisar antara 12 hingga 20, yang umumnya diperoleh dari ukuran *Region of Interest* (ROI) sebesar 20–30 mm yang ditempatkan pada area pusat medan magnet. Kondisi ini sejalan dengan prinsip *susceptibility magnetik* dan ketidakhomogenan medan B_0 , di mana area isosenter cenderung memiliki tingkat homogenitas medan magnet yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh B_0 *inhomogeneity* dan *susceptibility*. Sesuai teori yang dikatakan Blüml & Panigrahy (2013), Semakin besar ukuran *Region of Interest* (ROI) yang ditetapkan, maka jumlah metabolit yang tercakup di dalamnya juga akan meningkat. Kondisi ini menyebabkan penurunan nilai *Free Induction Decay* (FID), yang memiliki hubungan berbanding terbalik dengan nilai FWHM. Akibatnya, penurunan FID akan berdampak pada peningkatan nilai FWHM yang dihasilkan.

FWHM yang diinginkan pada perangkat MRS 1,5 dan 3 T masing-masing kurang dari 15 dan 30 Hz (Reilly & Webb, 2015). Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Susilowati & Nurmawanti (2020), FWHM digunakan sebagai parameter untuk menilai homogenitas voxel dan idealnya dijaga di bawah nilai 15. Hal ini penting agar spektrum yang dihasilkan akurat, ditandai dengan bentuk spektrum yang tajam serta terpisahnya bagian bawah kurva

antara puncak *choline* dan *creatine*. Tinggi puncak spektrum mencerminkan konsentrasi masing-masing metabolit. Semakin kecil nilai FWHM, maka kualitas spektrum yang dihasilkan akan semakin baik. Sebaliknya, nilai FWHM yang tinggi akan menurunkan resolusi spektrum, menyebabkan puncak menjadi melebar dan menyulitkan dalam membedakan sinyal antar metabolit. (Icha et al., 2024).

Nilai FWHM yang terlalu tinggi dapat menurunkan resolusi spektral dan menyebabkan tumpang tindih sinyal metabolit, terutama pada alat dengan medan magnet rendah seperti 1,5 Tesla. Oleh sebab itu, rentang FWHM 15–18 Hz dapat direkomendasikan sebagai nilai yang optimal untuk memperoleh spektrum berkualitas baik pada MRS metode multi-voxel.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi nilai *Full Width at Half Maximum* (FWHM) tidak memberikan pengaruh yang signifikan secara statistik terhadap nilai integral metabolit *N-Acetyl Aspartate* (NAA), *Creatine* (Cr), dan *Choline* (Cho) pada pemeriksaan *Magnetic Resonance Spectroscopy* (MRS) metode multi voxel. Namun, berdasarkan uji statistik deskriptif nilai integral metabolit, rentang FWHM 15–18 Hz menghasilkan spektrum yang lebih stabil dan terdefinisi, dengan baseline sejajar serta puncak spektrum yang tidak saling tumpang tindih. Temuan ini mengindikasikan bahwa rentang FWHM tersebut mencerminkan kualitas *shimming* yang optimal dan resolusi spektral yang baik. Oleh karena itu, meskipun secara statistik tidak signifikan, FWHM 15–18 Hz direkomendasikan sebagai nilai optimal dalam pemeriksaan MRS multi-voxel untuk memperoleh spektrum berkualitas tinggi yang dapat menunjang akurasi diagnostik.

DAFTAR PUSTAKA

Barker, P. B., Bizzi, A., De Stefano, N., Gullapalli, R. P., & Lin, D. D. M. (2009). Clinical MR Spectroscopy: Techniques and applications. In *Clinical MR Spectroscopy: Techniques and Applications* (Vol. 9780521868). <https://doi.org/10.1017/CBO9780511770647>

Bhogal, A. A., Schür, R. R., Houtepen, L. C., van de Bank, B., Boer, V. O., Marsman, A., Barker, P. B., Scheenen, T. W. J., Wijnen, J. P., Vinkers, C. H., & Klomp, D. W. J. (2017). 1H-MRS processing parameters affect metabolite quantification: The urgent need for uniform and transparent standardization. *NMR in Biomedicine*, 30(11), e3804. <https://doi.org/10.1002/nbm.3804>

- Blüml, S., & Panigrahy, A. (2013). MR spectroscopy of pediatric brain disorders. *MR Spectroscopy of Pediatric Brain Disorders*, 9781441958, 1–401.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5864-8>
- Chandra, S., Putu Rita Jeniyanti, N., Asih Budiati, T., Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi, A., & Sakit Pusat Pertamina, R. (2024). Prosedur Teknik Pemeriksaan Magnetic Resonance Spectroscopy Pada Kasus Tumor Otak Di Instalasi Radiologi RS Pusat Pertamina Jakarta. *Jurnal Ilmu Kesehatan Dan Gizi (JIG)*, 2(1), 162–179.
<https://doi.org/10.55606/jikg.v2i1.2148>
- Hulmansyah, D., Wibowo, A. S., & Fatimah. (2020). Prosedur Pemeriksaan Magnetic Resonance Spectroscopy (Mrs) Kepala Pada Kasus Tumor Otak Di Instalasi Radiologi Rsud Petala Bumi Pekanbaru. *Journal of STIKes Awal Bros Pekanbaru*, 1(1), 21–30.
<https://doi.org/10.54973/jsabp.v1i1.20>
- Icha, A., Prananto, L., & Winarno, G. (2024). Analisis Perbandingan Hasil Spektrum Magnetic Resonance Spectroscopy Brain Dengan Variasi Ukuran Volume of Interest (VOI) Pada MRI Phillips 3T. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, 10(2), 117–123.
<https://doi.org/10.31983/jimed.v10i2.11753>
- Juchem, C., & de Graaf, R. A. (2017). B0 magnetic field homogeneity and shimming for in vivo magnetic resonance spectroscopy. *Analytical Biochemistry*, 529, 17–29.
<https://doi.org/10.1016/j.ab.2016.06.003>
- Kousi, E., Tsougos, I., Vasiou, K., Theodorou, K., Poultsidi, A., Fezoulidis, I., & Kappas, C. (2012). Magnetic resonance spectroscopy of the breast at 3T: pre- and post-contrast evaluation for breast lesion characterization. *TheScientificWorldJournal*, 2012, 754380.
<https://doi.org/10.1100/2012/754380>
- Lin, A., Andronesi, O., Bogner, W., Choi, I. Y., Coello, E., Cudalbu, C., Juchem, C., Kemp, G. J., Kreis, R., Krššák, M., Lee, P., Maudsley, A. A., Meyerspeer, M., Mlynarik, V., Near, J., Öz, G., Peek, A. L., Puts, N. A., Ratai, E. M., ... Mullins, P. G. (2021). Minimum Reporting Standards for in vivo Magnetic Resonance Spectroscopy (MRSinMRS): Experts' consensus recommendations. *NMR in Biomedicine*, 34(5).
<https://doi.org/10.1002/nbm.4484>
- Mayani, A. N., & Wibowo, G. M. (2011). *ANALISIS PEMILIHAN REGION OF INTEREST (ROI) PADA MAGNETIC RESONANCE SPECTROSCOPY (MRS) ANALYSIS REGION OF INTEREST (ROI) ELECTION IN MAGNETIC RESONANCE SPECTROSCOPY (MRS)* Anita : Analisis Pemilihan Region of Interest ... Anita : Analisis Pemilihan R. 2(2), 137–141.
- Mullins, P. G., McGonigle, D. J., O’Gorman, R. L., Puts, N. A. J., Vidyasagar, R., Evans, C. J., Edden, R. A. E., Brookes, M. J., Garcia, A., Foerster, B. R., Petrou, M., Price, D., Solanky, B. S., Violante, I. R., Williams, S., & Wilson, M. (2014). Current practice in the use of MEGA-PRESS spectroscopy for the detection of GABA. *NeuroImage*, 86, 43–52.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.12.004>
- Near, J., Harris, A. D., Juchem, C., Kreis, R., Marjańska, M., Öz, G., Slotboom, J., Wilson, M., & Gasparovic, C. (2021). Preprocessing, analysis and quantification in single-voxel magnetic resonance spectroscopy: experts' consensus recommendations. *NMR in Biomedicine*, 34(5), e4257.
<https://doi.org/10.1002/nbm.4257>
- Posse, S., Otazo, R., Dager, S. R., & Alger, J. (2013). MR spectroscopic imaging: Principles and recent advances. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 37(6), 1301–1325.
<https://doi.org/10.1002/jmri.23945>
- Reilly, T. O., & Webb, P. A. (2015). *New Developments in Dielectric Shimming for Neuroimaging in MRI at 7T Supervisors :*
- Reyngoudt, H., Claeys, T., Vlerick, L., Verleden, S., Acou, M., Deblaere, K., De Deene, Y., Audenaert, K., Goethals, I., & Achten, E. (2012a). Age-related differences in metabolites in the posterior cingulate cortex and hippocampus of normal ageing brain: a 1H-MRS study. *European Journal of Radiology*, 81(3), e223–31.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2011.01.106>
- Reyngoudt, H., Claeys, T., Vlerick, L., Verleden, S., Acou, M., Deblaere, K., De Deene, Y., Audenaert, K., Goethals, I., & Achten, E. (2012b). Age-related differences in metabolites in the posterior cingulate cortex and hippocampus of normal ageing brain: A 1H-MRS study. *European Journal of Radiology*, 81(3).

<https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2011.01.106>

Susilowati, P., & Nurmawati, W. (2020). Analisis Prosedur Pemeriksaan Magnetic Resonance Spectroscopy (MRS) Pada Kasus Tumor Otak. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, 6(2), 86–90.

<https://doi.org/10.31983/jimed.v6i2.5823>

Tsougos, I. (2017). Advanced MR neuroimaging: From theory to clinical practice. *Advanced MR Neuroimaging: From Theory to Clinical Practice*, 1–220.

<https://doi.org/10.1201/9781351216548>

Zeinali-Rafsanjani, B., Faghihi, R., Mosleh-Shirazi, M. A., Saeedi-Moghadam, M., Lotfi, M., Jalli, R., Sina, S., & Mina, L. (2018). MRS shimming: An important point which should not be ignored. *Journal of Biomedical Physics and Engineering*, 8(3), 261–270.

<https://doi.org/10.31661/jbpe.v0i0.845>