

Pengukuran dan Analisa Sinyal Otak Manusia dengan Studi Kasus Pemberian Input Suara

Measurement and Analysis of Human Brain Signals with Case Study of Sound Input Provision

Fashbir

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Unsyiah

Received January, 2017, Accepted January, 2017

Berbagai aktivitas kimia dan listrik terjadi di dalam tubuh manusia, tak terkecuali di otak. Aktivitas listrik di otak tersebut akan melepaskan muatan listrik secara simultan dan berirama atau terpola sehingga dapat terbangkitkan gelombang listrik, yang hasilnya dapat ditelusuri dan dilihat pada rekaman sinyal otak (electroencephalogram). Perubahan tingkat amplitudo gelombang theta dan alpha saat mendengarkan suara tertentu dapat menjadi indikator tingkat kenyamanan seseorang. Salah satu metoda pembangkitan sinyal alpha adalah mendengarkan suara tertentu. Pada penelitian berstudi kasus pemberian input suara ini, digunakan tiga macam input suara untuk mengetahui pengaruh jenis suara tersebut terhadap amplitudo sinyal otak, terutama sinyal theta dan alpha, dilihat dari daya rata-ratanya. Percobaan dilakukan dengan menggunakan alat Brainmapping yang merupakan pengembangan dari EEG. Selain mengeluarkan sinyal-sinyal EEG, alat ini juga mengeluarkan amplitudo rata-rata gelombang-gelombang otak. Software yang digunakan adalah Sigma PLpro. Data yang diambil adalah berupa amplitudo dari PSD (yang telah dirata-ratakan berdasarkan jenis gelombang EEG) dan peta gelombang otak. Pengolahan data dilakukan secara statistik, yang meliputi uji hipotesis dengan metode Analysis of Variance (ANOVA) dan range test, sehingga dapat dianalisis perbedaannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah pada otak yang dipengaruhi oleh suara adalah daerah temporal otak. Hal lain adalah sinyal delta, alpha, dan beta dapat terpengaruh oleh suara, walau secara statistik pengaruh itu tidak signifikan terhadap hasil pengukuran, sedangkan jenis suara secara signifikan mempengaruhi sinyal theta.

Chemical and electrical activities that take place in human body include the one that occur in brain. The electrical activities in the brain will release electrical charges simultaneously and rhythmically so that electrical waves can be generated, which its representative picture can be browsed on brain signals recording (electroencephalogram). Change of theta and alpha signal amplitudes can indicate the level of someone's comfort ability. A method to generate alpha signal is by listening to certain sound. In this research with sudy case, three kinds of sound were used in order to know the influence of these sounds on brain signal amplitude, especially for theta and alpha signals, by assessing their average signal power (Power Spectral Density, PSD). The experiments were done by using brainmapping instrument, a development of EEG recorder. Besides drawing out EEG signals, this instrument is also drawing out average amplitude of brain waves. The software used was Sigma PLpro. Data gained were PSD amplitudes (averaged based on kind of EEG wave) and brain wave map. Data processing was done statistically, includes hypothesis test with Analysis of Variance (ANOVA) and range test, so that its difference could be analyzed. The results showed that sound influenced on temporal brain area. Another conclusion was delta, alpha, and beta signals could be influenced by sound, although statistically this influence on yield of measurement was insignificant, while the kind of sound influenced theta signal significantly

Keywords: sinyal biolistrik, input suara, electroencephalogram, ANOVA, range test.

Pendahuluan

Di dalam tubuh manusia banyak terjadi berbagai aktivitas kimia dan listrik, termasuk di otak, dimana aktivitas listrik di otak tersebut akan melepaskan muatan listrik secara serentak dan berirama atau terpola sehingga dapat terbangkitkan gelombang listrik. Sumber utama sinyal-sinyal biolistrik yang terbangkitkan adalah potensial membran sel yang pada kondisi tertentu dapat dieksitasi untuk membangkitkan potensial aksi. Aksi tersebut membangkitkan medan listrik, yang aksi dari banyak sel akan berimplikasi pada terbentuknya sinyal biolistrik. Di antara contoh sinyal listrik tubuh adalah sinyal listrik otak, yang disebut dengan *Electroencephalography* (EEG). Sinyal EEG bermanfaat untuk diagnosa klinis maupun penelitian, misalnya untuk mendeteksi kelainan pada otak dan menentukan dibagian mana kelainan tersebut berada, juga dapat mempelajari seluk-beluk epilepsi, mendiagnosa gangguan mental, mempelajari pola tidur, serta mempelajari respon otak terhadap rangsangan tertentu.

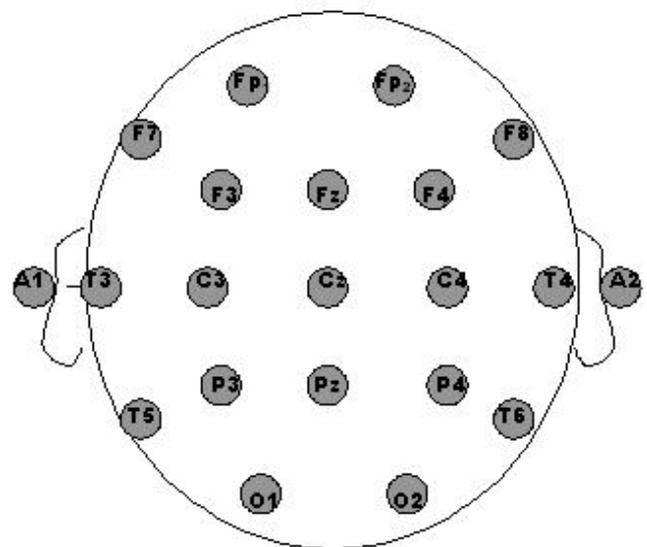
Komponen yang menyusun EEG adalah irama elektrik dan pelepasan muatan sementara (transient) yang dibedakan oleh lokasi, frekuensi, amplitudo, bentuk, periodisitas, dan sifat-sifat fungsional (Carr, 2001). Pola sinyal EEG yang terekam berkaitan dengan aktivitas mental, level kesadaran, dan kondisi fisiologis obyek serta informasi patologi otak (Cameron, 1978). Secara umum, otak manusia memiliki empat sinyal dasar yaitu delta, theta, alpha dan beta. Keempat sinyal ini baik jika berada pada situasi yang berbeda. Manusia akan mendapat masalah apabila otaknya tidak memunculkan salah satu sinyal pada saat yang seharusnya sinyal tersebut ada. Misalnya, bila seseorang tidak dapat membangkitkan delta dan theta maka ia akan menderita penyakit sulit tidur (insomnia) (Guyton, 1997). Bagi pasien yang mengalami stress, salah satu penanganan yang dapat dimanfaatkan terhadap mereka adalah dengan treatment audio, yaitu dengan mendengarkan jenis suara tertentu. Tingkat kenyamanan naracoba dapat diindikasikan dengan melihat peningkatan amplitudo gelombang theta dan alpha naracoba (Doni Hidayat, 2001).

Dalam artikel ini dibahas metode pengambilan data atau pengukuran sinyal EEG naracoba yang diberi input suara tertentu, pengolahan data hasil pengukuran, dan analisa terhadap hasil pengolahan data tersebut, disertai dengan contoh, di mana sinyal EEG naracoba yang

diberi input suara tertentu telah diambil, dan dapat dilihat pengaruh input suara tersebut terhadap peningkatan amplitudo gelombang listrik otak manusia, terutama sinyal theta dan alpha, dilihat dari daya rata-ratanya.

Metodologi

Metode yang dapat dilakukan dalam pengambilan sinyal EEG dari naracoba yang mendengarkan input suara tertentu adalah sebagai berikut: Elektroda dipasang pada kulit kepala. Peletakan elektroda pada kulit kepala ini dapat dilakukan dengan susunan sebagaimana pada Gambar 1.



C3, C4 = Center	O1, O2 = Occipital
P3, P4 = Parietal	F3, F4 = Frontal
Fz = Mid-line Frontal	Cz = Mid-line Central
Pz = Mid-line Parietal	F7, F8 = Anterior Temporal
T3, T4 = Middle Temporal	T5, T6 = Posterior Temporal
Fp1, Fp2 = Frontal pole	

Gambar 1 Peletakan elektroda pada kulit kepala (Dinda Karmilasari, 2002)

Elektroda-elektroda dilekatkan di kepala dengan posisi standar 10-20. Sistem ini disusun berdasarkan jarak antara titik-titik tulang pada tengkorak. Angka 10-20 menunjukkan 10 % dan 20 % dari panjang garis-garis yang dibuat di permukaan kepala, dan elektroda diletakkan pada setiap titik tersebut (Dinda Karmilasari, 2002). Masukan brainmapping berasal dari elektroda-elektroda di atas. Software Sigma PLpro buatan Medizin Technik, Jerman dipersiapkan untuk digunakan selama dan setelah pengambilan sinyal EEG naracoba. Naracoba lalu

mendengarkan input suara tertentu, dan sinyal EEG naracoba direkam dan disimpan di komputer. Data yang didapatkan adalah berupa sinyal EEG, *Power Spectral Density* (PSD) yang telah dirata-ratakan berdasarkan jangkauan frekuensi dari jenis-jenis gelombang EEG (yaitu delta, theta, alpha, dan beta) yang diperoleh dengan menggunakan *Sigma Plpro*, dan peta gelombang otak dominan pada posisi elektroda yang diigunakan.

Sinyal diolah dan dikelompokkan. Pengolahan sinyal dari bentuk domain waktu menjadi bentuk domain frekuensi serta pengelompokan ke dalam gelombang-gelombang otak dilakukan secara langsung dengan menggunakan *Sigma Plpro* yang telah terinstal di komputer, dimana komputer tersebut terhubung dengan sistem instrumentasi, termasuk elektroda-elektroda. Pengolahan data selanjutnya dilakukan secara statistik, yang meliputi uji hipotesis dengan metode *Analysis of Variance* (ANOVA) dan *range test* yang dilakukan berdasarkan hasil pengujian hipotesis.

Uji hipotesis merupakan metode untuk menyimpulkan benar salahnya hipotesis yang diajukan (Hicks, 1993). Terdapat kemungkinan dua kesalahan yang muncul dalam pengujian hipotesis, yaitu:

- kesalahan 1: jika hipotesis benar tetapi ditolak, dan
- kesalahan 2: jika hipotesis tidak benar tetapi diterima.

Probabilitas terjadinya kesalahan jenis 1 dinyatakan dengan α dan probabilitas terjadinya kesalahan jenis 2 dinyatakan dengan β .

Metode *Analysis Of Variance* (ANOVA) dapat digunakan untuk menguji hipotesis, sebagaimana dilakukan pada contoh penelitian yang dideskripsikan di bawah. Jika terdapat lebih dari satu faktor dan diperlukan analisis tentang kemungkinan adanya interaksi antarfaktor, maka digunakan analisis variansi faktorial. *Range test* digunakan untuk melihat apakah komponen-komponen pada faktor yang diamati memang berbeda satu dengan yang lainnya (Hicks, 1993). Prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut (Dinda Karmilasari, 2002):

1. Rata-rata nilai pada masing-masing komponen dari faktor yang akan dianalisa awalnya dicari lalu disusun mulai dari harga yang terendah sampai yang tertinggi.
2. Dari tabel ANOVA dicatat harga *mean square error* dan derajat kebebasannya.

3. Standar error dari tiap mean treatment dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$S_{\bar{Y}.j} = \sqrt{\frac{MS_{error}}{n_{\bar{Y}.j}}} \quad (1)$$

dengan $n_{\bar{Y}.j}$ adalah jumlah pengamatan setiap $\bar{Y}.j$.

4. Tabel *studentized range* digunakan, untuk range yang signifikan pada level α yang dikehendaki, dan $N_2 =$ derajat kebebasan *mean square error*.
5. Range $p = 2,3,\dots,k$ dikalikan dengan $S_{\bar{Y}.j}$ untuk mencari range signifikan terkecil.
6. Setiap range antarmean yang diperoleh ditest, dimulai dari harga mean terbesar dengan mean terkecil kemudian dibandingkan dengan range signifikan terkecil untuk $p=k$, dilanjutkan dengan range antara mean terbesar dengan mean terkecil kedua untuk $p=k-1$, dan seterusnya.
7. Jika selisih mean lebih besar daripada range signifikan berarti komponen faktor tersebut jelas berbeda dengan komponen faktor yang lain.

Dalam penelitian ini, data EEG diambil dari 3 orang naracoba laki-laki yang sehat dan berusia 22–23 tahun, masing-masing sebanyak dua kali. Pengambilan data dilakukan dalam kondisi naracoba duduk rileks, mata tertutup agar sinyal-sinyal listrik akibat aktivitas otot muka, mata, leher, tangan, kaki dan sebagainya yang dapat mengganggu rekaman EEG dapat dikurangi. Input suara didengarkan dari *diskman* dengan menggunakan *earphone*, dengan jenis input suara sebanyak tiga macam, seperti dapat dilihat pada Tabel 1. Tiap naracoba mendengarkan suara selama 3 menit dan jeda antar suara adalah sekitar 3-4 menit dengan tujuan agar naracoba tidak terpengaruh dengan suara sebelumnya.

Tabel 1 Suara yang digunakan pada percobaan

No	Suara	Durasi (menit:detik)
1	A	4:57
2	B	4:37
3	C	4:57

Kondisi akustik ruangan tempat pengambilan data dilakukan agak bising karena petugas lain sering keluar masuk ruangan.

Pada setiap sinyal tersebut, terdapat tiga 13actor yang diamati yaitu naracoba, treatment/segmen, dan posisi. Level untuk setiap faktor ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Level untuk setiap faktor

No	Faktor	Level	
1	Naracoba (N)	3 orang (laki-laki)	
2	Treatment (T)	1. Awal, tanpa suara 2. suara A 3. Sebelum suara B 4. Suara B 5. Sebelum suara C 6. Suara C	
3	Posisi elektroda (P)	1.Fp2 3.F4 5.C4 7.P4 9.O2 11.F8 13.T4 15.T6 17.Fz 19.Pz	2.Fp1 4.F3 6.C3 8.P3 10.O1 12.F7 14.T3 16.T5 18.Cz

Hasil Penelitian

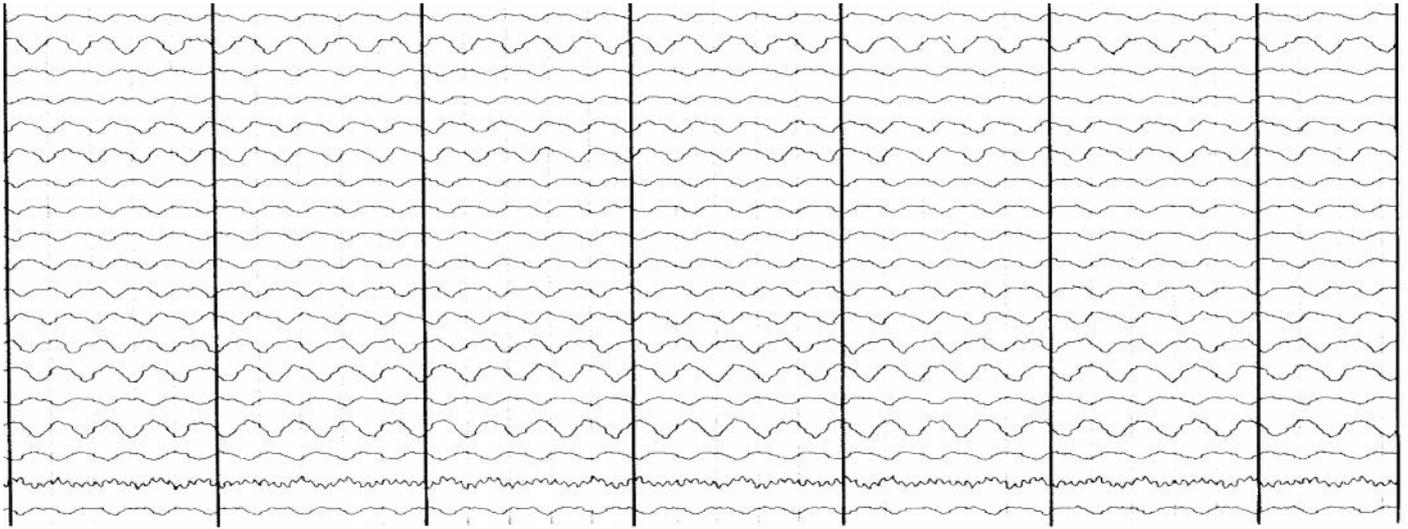
Gambar 2 merupakan beberapa contoh sinyal EEG naracoba yang diperoleh, dengan urutan posisi dari atas ke bawah adalah P1, P2, ..., P19, serta sinyal yang ditampilkan disini bukanlah keseluruhan sinyal, tetapi potongan sinyal pada bagian tertentu. PSD yang dihasilkan telah dibagi dalam range sinyal delta (1.5-3 Hz), theta (3-8 Hz), alpha (8-13 Hz) dan beta (13-30 Hz). Data pengukuran sinyal EEG yang berupa sinyal dalam domain waktu kemudian diekspresikan dalam Power Spectral Density (PSD) untuk melihat distribusi frekuensi yang dikandungnya. PSD yang dihasilkan ini kemudian dibagi dalam 4 range yaitu range delta (1,5-3 Hz), theta (3-8 Hz), alpha (8-13 Hz), dan beta (13-30 Hz) untuk kemudian dirata-ratakan. Data yang dianalisis adalah data PSD (untuk sinyal delta, theta, alpha, dan beta) dan peta gelombang otak.

ANOVA dari harga PSD rata-rata sinyal delta ditampilkan pada Tabel 3. Tampak bahwa 13actor treatment, posisi, dan naracoba menunjukkan signifikansi lebih besar dari 0.99. Demikian pula interaksi 13actor treatment dan naracoba, menunjukkan signifikansi yang lebih besar dari 0.99. Ini berarti bahwa secara 13actor13ic, perbedaan treatment, posisi dan naracoba memberikan pengaruh yang signifikan terhadap

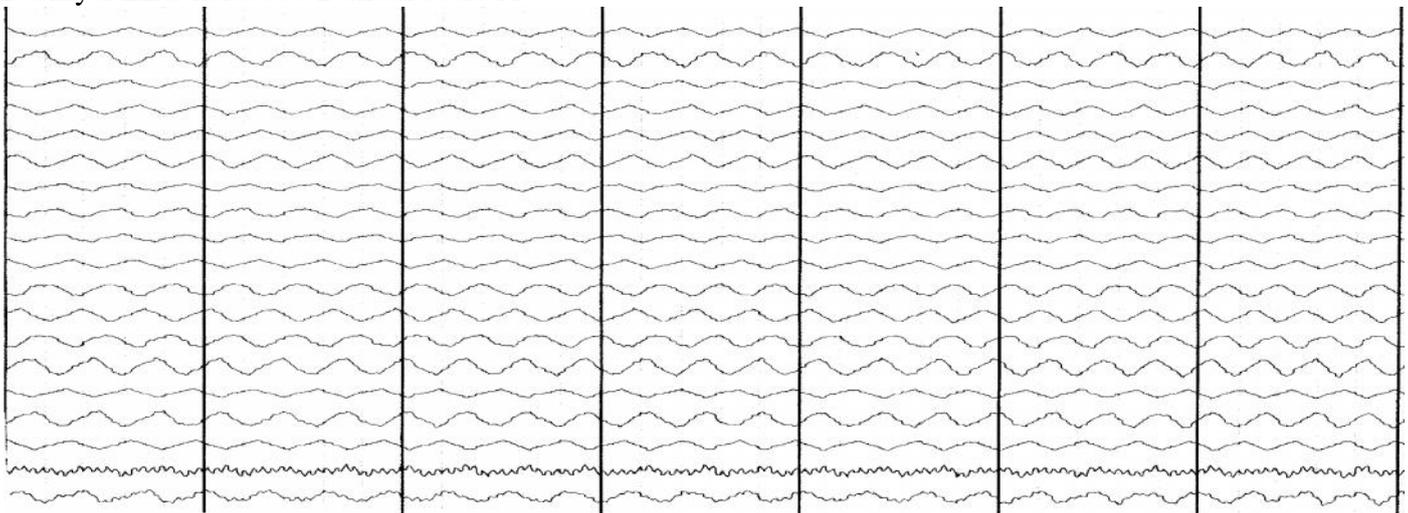
hasil pengukuran, yakni pengukuran pada treatment, posisi dan naracoba yang berbeda akan menghasilkan harga yang berbeda. Perbedaan harga tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. Karena 13actor treatment merupakan 13actor yang signifikan, maka perlu dibuat 13acto ANOVA baru (Tabel 4 dan Tabel 5) yang memisahkan treatment suara dengan treatment sebelum suara untuk melihat ada tidaknya perbedaan yang signifikan pada harga pengukuran antara satu suara dengan suara lainnya dan antara jeda satu dengan jeda lainnya. Dari Tabel 4 tampak bahwa 13actor yang signifikan adalah treatment, posisi, naracoba, serta interaksi antara treatment dan naracoba. Sedangkan Tabel 5 menunjukkan bahwa 13actor yang signifikan adalah posisi, naracoba dan interaksi antara treatment dengan naracoba. Dengan kata lain, 13actor treatment berdasarkan Tabel 5 bukanlah 13actor yang signifikan. Jadi, jenis suara yang didengarkan tidak mempengaruhi harga pengukuran secara signifikan. Daya delta seluruh naracoba, dapat dilihat pada Gambar 4. Tampak bahwa pengaruh terhadap masing-masing naracoba adalah sebagai berikut: Pada naracoba 1, suara A dan B meningkatkan sinyal delta, sedangkan C menurunkan sinyal delta. Pada naracoba 2, suara A dan B menurunkan sinyal delta sedangkan C menaikannya. Pada naracoba 3, suara A menurunkan sinyal delta sedangkan B dan C menaikkan sinyal delta.

Untuk mencari titik signifikan maka dilakukan range test. Berdasarkan Tabel 4 dan Tabel 5, di mana 13actor treatment yang signifikan adalah saat tidak diberi suara, maka range test yang dilakukan hanya untuk kondisi saat tidak diberi suara. Hasilnya tampak pada Gambar 5. Tampak bahwa treatment 5 signifikan berbeda dengan yang lainnya, sedangkan treatment 3 tidak signifikan berbeda dengan treatment 1. ANOVA dari harga PSD rata-rata sinyal theta ditampilkan pada Tabel 6. Tabel di atas menunjukkan bahwa 13actor treatment memiliki tingkat signifikansi di atas 0.99. Terdapat juga interaksi antarfaktor yang memberikan hasil signifikan, yaitu interaksi antara treatment dan naracoba (lebih dari 0.99) dan interaksi antara treatment dan posisi (lebih dari 0.975). Ini menunjukkan bahwa pengukuran pada treatment yang berbeda mempunyai pengaruh yang berbeda untuk setiap naracoba, dan pengukuran pada posisi yang berbeda akan memberikan pengaruh treatment yang berbeda.

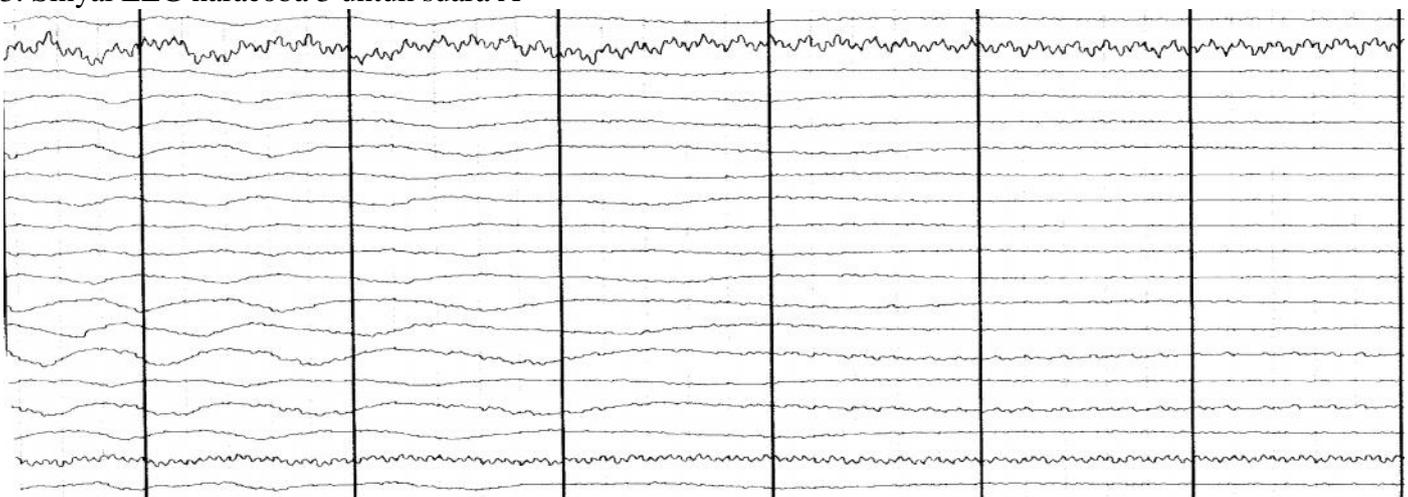
1. Sinyal EEG naracoba 1 untuk suara A



2. Sinyal EEG naracoba 2 untuk suara A



3. Sinyal EEG naracoba 3 untuk suara A



Gambar 2 Beberapa contoh sinyal EEG naracoba yang diperoleh, dengan urutan posisi dari atas ke bawah adalah P1, P2, ..., P19, serta sinyal yang ditampilkan disini bukanlah keseluruhan sinyal, tetapi potongan sinyal pada bagian tertentu

Tabel 3 ANOVA delta untuk seluruh data

Sumber	df	SS	MS	F	r
Treatment T_i	5	1225127.747	245025.5	3.361573	<0.01
Posisi P_j	18	12524484.19	695804.7	9.545937	<0.01
Naracoba N_k	2	1389444.97	694722.5	9.53109	<0.01
Interaksi TxP TP_{ij}	90	1292260.289	14358.45	0.196988	>0.25
Interaksi TxN TN_{ik}	10	8062982.725	806298.3	11.06183	<0.01
Interaksi PxN PN_{jk}	36	1742001.824	48388.94	0.663861	>0.25
Interaksi TxPxN TPN_{ijk}	180	5981425.325	33230.14	0.455893	>0.25
Error $\epsilon_{m(ijk)}$	342	24928426.24	72890.14		
Total	683	57146153.31			

Tabel 4 ANOVA delta untuk data ganjil (tidak diberi suara)

Sumber	df	SS	MS	F	r
Treatment T_i	2	1164855.082	582427.5	6.555804	<0.01
Posisi P_j	18	6714281.579	373015.6	4.198663	<0.01
Naracoba N_k	2	3576765.307	1788383	20.13004	<0.01
Interaksi TxP TP_{ij}	36	968499.0227	26902.75	0.302817	>0.25
Interaksi TxN TN_{ik}	4	2543304.197	635826	7.156857	<0.01
Interaksi PxN PN_{jk}	36	3130869.384	86968.59	0.978918	>0.25
Interaksi TxPxN TPN_{ijk}	72	2067643.702	28717.27	0.323242	>0.25
Error $\epsilon_{m(ijk)}$	171	15191898.46	88841.51		
Total	341	35358116.73			

Tabel 5 ANOVA delta untuk data genap (diberi suara)

Sumber	df	SS	MS	F	r
Treatment T_i	2	59136.5228	29568.26	0.519299	>0.25
Posisi P_j	18	5985719.507	332540	5.840309	<0.01
Naracoba N_k	2	1457074.621	728537.3	12.7951	<0.01
Interaksi TxP TP_{ij}	36	236240.6196	6562.239	0.115251	>0.25
Interaksi TxN TN_{ik}	4	1875283.572	468820.9	8.233774	<0.01
Interaksi PxN PN_{jk}	36	968699.2416	26908.31	0.472583	>0.25
Interaksi TxPxN TPN_{ijk}	72	1468218.572	20391.92	0.358138	>0.25
Error $\epsilon_{m(ijk)}$	171	9736527.782	56938.76		
Total	341	21786900.44			

Tabel 6 ANOVA theta untuk seluruh data

Sumber	df	SS	MS	F	r
Treatment T_i	5	7435844.313	1487168.86	7.384049	<0.01
Posisi P_j	18	6267745.252	348208.07	1.728913	>0.03
Naracoba N_k	2	29652.95806	14826.479	0.073616	>0.25
Interaksi TxP TP_{ij}	90	23687658.63	263196.207	1.306814	<0.025
Interaksi TxN TN_{ik}	10	7840382.555	784038.256	3.892885	<0.01
Interaksi PxN PN_{jk}	36	5730419.389	159178.316	0.790348	>0.25
Interaksi TxPxN TPN_{ijk}	180	12253989.52	68077.7196	0.338018	>0.25
Error $\epsilon_{m(ijk)}$	342	68879790.8	201402.897		
Total	683	132125483.4			

Tabel 7 ANOVA theta untuk data ganjil (tidak diberi suara)

Sumber	df	SS	MS	F	r
Treatment T_i	2	1194532.478	597266.2	10.23433	<0.01
Posisi P_j	18	7090069.188	393892.7	6.749468	<0.01
Naracoba N_k	2	1655560.016	827780	14.18426	<0.01
Interaksi TxP TP_{ij}	36	708834.8624	19689.86	0.337392	>0.25
Interaksi TxN TN_{ik}	4	1473401.898	368350.5	6.311794	<0.01
Interaksi PxN PN_{jk}	36	1983004.492	55083.46	0.943871	>0.25
Interaksi TxPxN TPN_{ijk}	72	1145229.446	15905.96	0.272553	>0.25

Error $\epsilon_{m(ijk)}$	171	9979401.823	58359.07		
Total	341	25230034.2			

Tabel 8 ANOVA theta untuk data genap (diberi suara)

Sumber	df	SS	MS	F	r
Treatment T_i	2	4981603.655	2490801.828	7.256182	<0.01
Posisi P_j	18	15880713.56	882261.8644	2.570198	<0.01
Naracoba N_k	2	2363795.776	1181897.888	3.443095	>0.01
Interaksi TxP TP_{ij}	36	6351610.581	176433.6273	0.513985	>0.25
Interaksi TxN TN_{ik}	4	2380024.46	595006.115	1.733367	>0.1
Interaksi PxN PN_{jk}	36	7707752.292	214104.2303	0.623727	>0.25
Interaksi TxPxN TPN_{ijk}	72	7030813.051	97650.18126	0.284474	>0.25
Error $\epsilon_{m(ijk)}$	171	58698512.22	343266.1533		
Total	341	105394825.6			

Tabel 9 ANOVA alpha untuk seluruh data

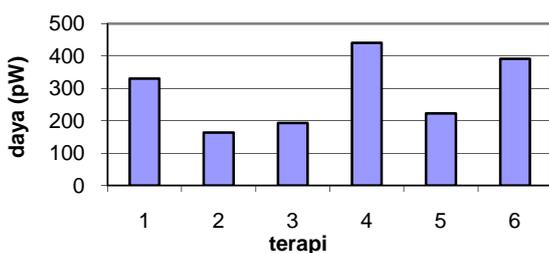
Sumber	df	SS	MS	F	r
Treatment T_i	5	60330.809	12066.16	2.286307	>0.04
Posisi P_j	18	879653.8282	48869.66	9.259867	<0.01
Naracoba N_k	2	29651.48499	14825.74	2.809194	>0.06
Interaksi TxP TP_{ij}	90	254119.9426	2823.555	0.53501	>0.25
Interaksi TxN TN_{ik}	10	79801.29879	7980.13	1.512082	>0.1
Interaksi PxN PN_{jk}	36	386907.0566	10747.42	2.036431	<0.01
Interaksi TxPxN TPN_{ijk}	180	386882.4157	2149.347	0.40726	>0.25
Error $\epsilon_{m(ijk)}$	342	1804931.402	5277.577		
Total	683	3882278.238			

Tabel 10 ANOVA beta untuk seluruh data

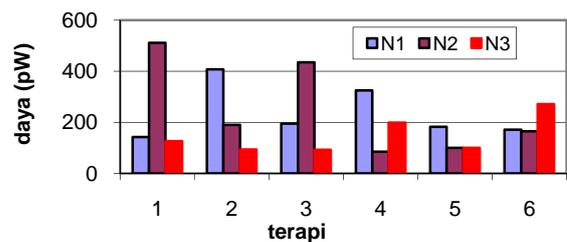
Sumber	df	SS	MS	F	r
Treatment T_i	5	676224396.9	135244879.4	1.54682584	>0.1
Posisi P_j	18	10096421536	560912307.6	6.41527912	<0.01
Naracoba N_k	2	1793247823	896623911.5	10.2548876	<0.01
Interaksi TxP TP_{ij}	90	3684869679	40942996.43	0.46827418	>0.25
Interaksi TxN TN_{ik}	10	1292115070	129211507	1.47782081	>0.1
Interaksi PxN PN_{jk}	36	9347915349	259664315.3	2.96983867	<0.01
Interaksi TxPxN TPN_{ijk}	180	7023070033	39017055.74	0.44624677	>0.25
Error $\epsilon_{m(ijk)}$	342	29902363648	87433811.84		
Total	683	63816227535			

Tabel 11 Daya rata-rata sinyal untuk tiap treatment

Sinyal	T1	T2	T3	T4	T5	T6
delta	259.958	230.6814	240.8769	202.8707	127.7228	202.7035
theta	330.6328	163.8155	193.015	441.0812	222.9197	391.2753
alpha	33.72722	23.74816	21.01935	48.20868	32.46811	40.36772
beta	1123.155	3459.81	3015.197	3121.14	1144.266	1451.884



Gambar 3 Harga daya rata-rata delta untuk faktor treatment

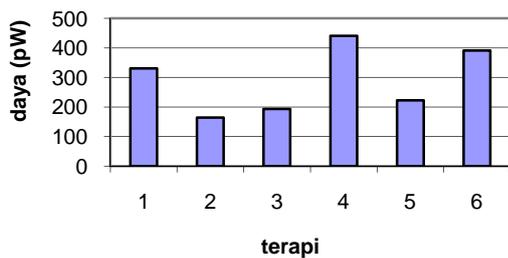


Gambar 4 Harga daya rata-rata delta untuk faktor treatment tiap naracoba

T5 T3 T1

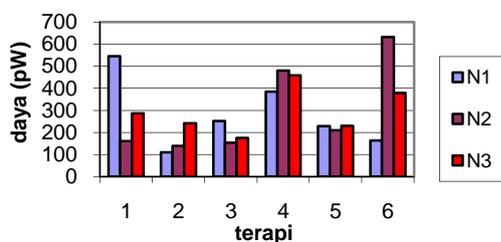
Gambar 5 Range test faktor treatment tanpa suara untuk sinyal delta

Karena faktor treatment merupakan faktor yang signifikan dalam pengukuran, maka dibuat tabel ANOVA baru (Tabel 7 dan 8) yang memisahkan treatment suara dengan treatment pasca suara, untuk melihat ada tidaknya perbedaan yang signifikan pada harga pengukuran antara suara satu dengan suara lainnya dan antara jeda satu dengan jeda lainnya. Tabel 7 dan 8 menunjukkan hal yang sama dengan Tabel 6 dalam hal faktor treatment, yakni menunjukkan signifikansi lebih besar dari 0.99. Ini berarti jenis suara yang didengarkan mempengaruhi harga pengukuran secara signifikan. Gambar 6 menunjukkan harga daya rata-rata theta untuk faktor treatment.



Gambar 6 Harga daya rata-rata theta untuk faktor treatment

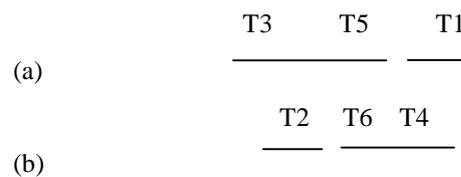
Tampak bahwa suara 1 menurunkan gelombang theta, sedangkan suara 2 dan 3 menaikkan gelombang theta. Gambar 6 hanya menunjukkan hubungan treatment dengan seluruh naracoba. Daya theta seluruh naracoba, dapat dilihat Gambar 7.



Gambar 7 Harga daya rata-rata theta untuk faktor treatment tiap naracoba

Tampak bahwa pengaruh terhadap masing-masing naracoba adalah sebagai berikut: Pada naracoba 1, suara A dan C menurunkan sinyal theta, sedangkan

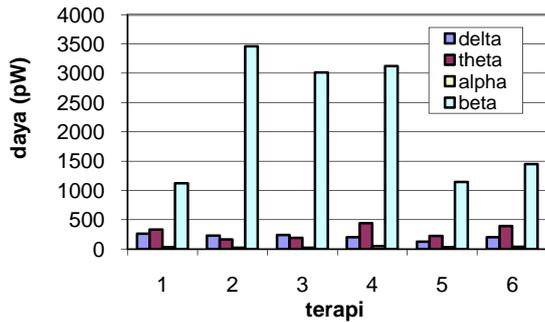
suara B menaikkan sinyal theta. Pada naracoba 2 dan 3, suara A menurunkan sinyal theta, sedangkan suara B dan C menaikkan sinyal theta. Treatment suara yang menghasilkan daya theta rata-rata terbesar adalah suara B. Untuk mencari titik signifikan dalam pengukuran ini, maka dilakukan *range test*. Karena menurut Tabel 7 dan 8 faktor treatment ketika tidak ada suara dan saat diberi suara merupakan faktor yang signifikan, maka *range test* dilakukan untuk kedua kondisi tersebut, yang hasilnya tampak pada Gambar 8.



Gambar 8 Range test untuk faktor treatment (a) tanpa suara dan (b) dengan suara pada sinyal theta

Range test di atas menunjukkan tidak ada perbedaan antara T3 dengan T5, tapi keduanya berbeda dengan T1. Sedangkan T6 dan T4 tidak berbeda namun keduanya berbeda dengan T4. Kelompok treatment 4 dan 6 memberikan harga pengukuran tertinggi. Jadi, saat mendengar kedua suara tersebut, naracoba cenderung memiliki lebih banyak sinyal theta dibanding saat mendengar suara yang lain.

ANOVA dari harga PSD rata-rata sinyal alpha ditampilkan pada Tabel 9. Tampak bahwa faktor posisi menunjukkan signifikansi lebih besar dari 0.99. Jadi, faktor posisi mempengaruhi hasil pengukuran sinyal alpha. Terdapat juga interaksi antar faktor yang memberikan hasil signifikan, yaitu interaksi antara posisi dan naracoba. Ini menunjukkan bahwa pengukuran pada posisi yang berbeda mempunyai pengaruh yang berbeda untuk setiap naracoba. ANOVA dari harga PSD rata-rata sinyal beta ditampilkan pada Tabel 10. Tabel tersebut menunjukkan bahwa faktor yang signifikan adalah posisi dan naracoba, dengan signifikansi lebih besar dari 0.99. Ini berarti bahwa faktor posisi dan naracoba memberikan pengaruh signifikan pada harga pengukuran sinyal beta. Terdapat juga interaksi antar faktor yang memberikan hasil signifikan, yaitu interaksi antara posisi dan naracoba. Jadi, pengukuran pada posisi yang berbeda mempunyai pengaruh yang berbeda untuk setiap naracoba. Daya rata-rata sinyal untuk setiap treatment ditunjukkan pada Tabel 11 dan Gambar 9.

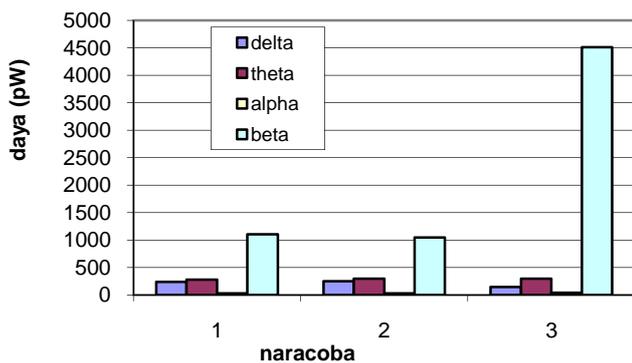


Gambar 9 Daya rata-rata sinyal untuk setiap treatment

Tampak bahwa treatment suara yang menghasilkan daya theta rata-rata terbesar adalah suara B. Demikian pula untuk sinyal alpha, treatment suara yang menghasilkan daya rata-rata alpha terbesar adalah suara B. Suara B menaikkan gelombang theta dan alpha lebih besar daripada suara C, sedangkan suara A menurunkan gelombang theta dan alpha serta menaikkan gelombang beta. Sedangkan daya rata-rata sinyal untuk setiap naracoba ditampilkan pada Tabel 12 dan Gambar 10.

Tabel 12 Daya rata-rata sinyal untuk setiap naracoba

sinyal	Naracoba		
	1	2	3
delta	237.1412	247.899	147.3664
theta	280.5218	295.7836	295.0644
alpha	27.1699	29.94605	42.65367
beta	1104.639	1044.26	4508.827

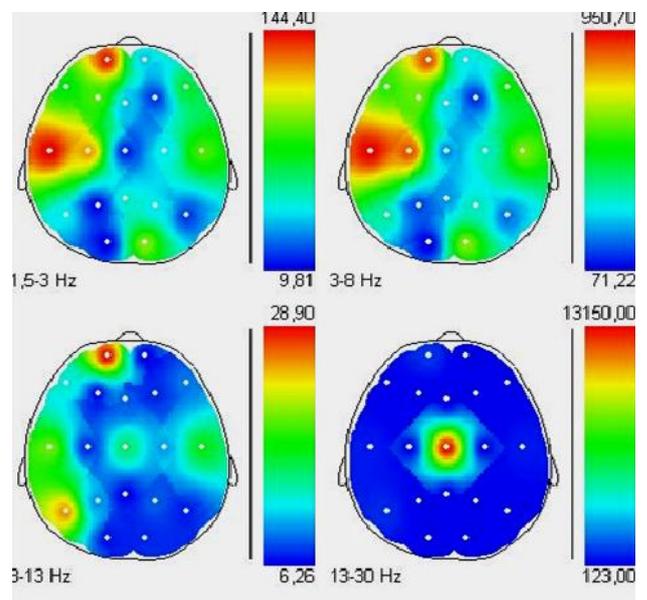


Gambar 10 Daya rata-rata sinyal untuk setiap naracoba

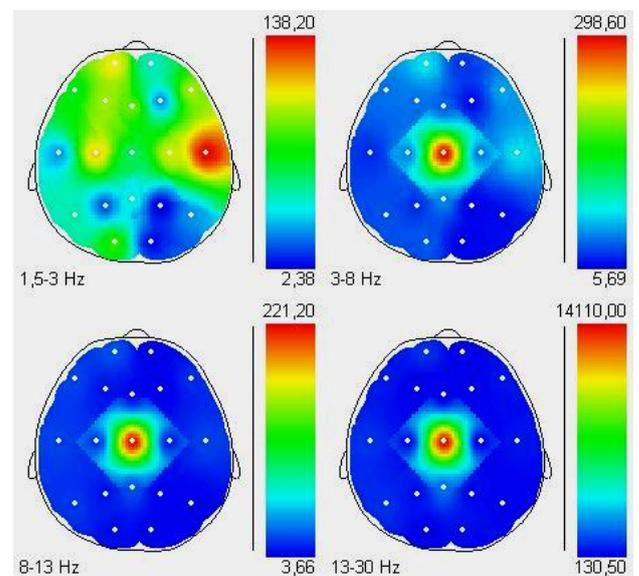
Tampak bahwa untuk ketiga naracoba, sinyal yang paling dominan adalah sinyal beta, dengan sinyal beta tertinggi dimiliki oleh naracoba 3. Sedangkan sinyal paling rendah yang ada pada ketiga naracoba adalah sinyal alpha.

Analisis Peta Gelombang Otak

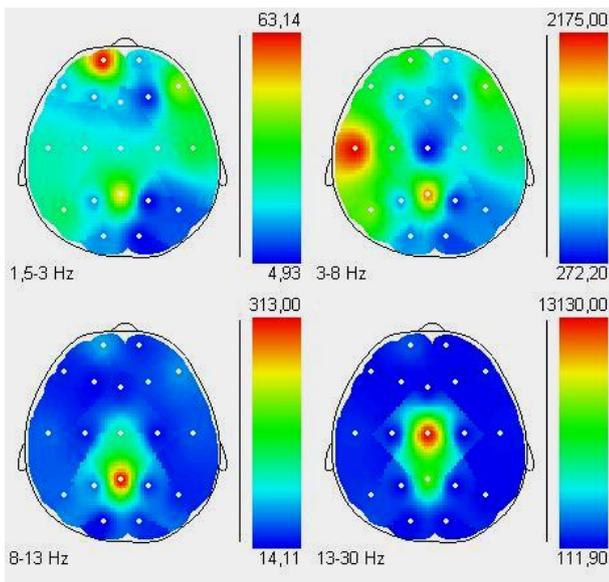
Selain data harga PSD dari sinyal EEG yang terekam, data yang diambil juga berupa peta gelombang otak pada saat sebelum ada suara dan pada tiap akhir suara, serta pengulangan dari keempat hal di atas, sehingga, didapatkan 24 buah peta gelombang otak. Contoh empat buah gambar peta pertama (belum ada pengulangan) untuk naracoba 1 ditunjukkan pada Gambar 11-14. Angka yang tertera menunjukkan harga PSD dalam pikowatt (pW), dan daerah yang berwarna merah menunjukkan posisi yang memiliki harga PSD tinggi.



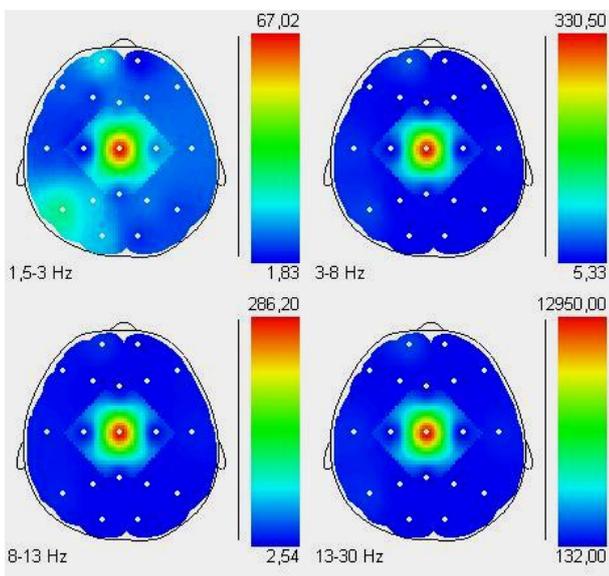
Gambar 11 Peta gelombang otak N1 awal



Gambar 12 Peta gelombang otak N1 di akhir suara A



Gambar 13 Peta gelombang otak N1 di akhir suara B



Gambar 14 Peta gelombang otak N1 di akhir suara C

Sedangkan letak dominan tiap gelombang mengalami pergeseran, seperti ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13 Letak dominan gelombang otak N1

Gelombang	Letak dominan			
	awal	akhir suara A	akhir suara B	akhir suara C
delta	T3, Fp1	T4	Fp1	Cz
theta	T3, Fp1	Cz	T3	Cz
alpha	Fp1, T5	Cz	Pz	Cz
beta	Cz	Cz	Cz	Cz

Berdasarkan peta-peta gelombang otak tersebut, tampak bahwa suara berpengaruh pada daerah temporal otak. Hal ini disebabkan karena posisi

sensor syaraf pendengaran manusia berada pada daerah tersebut.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat diambil kesimpulan bahwa sinyal delta dapat terpengaruh oleh suara walaupun secara statistik jenis suara tidak memberikan pengaruh berarti terhadap hasil pengukuran, dan pengaruhnya tidak sama pada setiap naracoba. Jenis suara secara signifikan mempengaruhi sinyal theta, dan pengaruh suara terhadap sinyal ini sangat beragam, tergantung pada kondisi dan minat naracoba terhadap suara. Jenis treatment, secara statistik, tidak secara signifikan mempengaruhi sinyal alpha. Untuk sinyal beta, jenis treatment tidak secara signifikan mempengaruhi sinyal beta. Suara B menaikkan gelombang theta dan alpha lebih besar daripada suara C, sedangkan suara A menurunkan gelombang theta dan alpha serta menaikkan gelombang beta. Suara berpengaruh pada daerah temporal otak. Hal ini disebabkan karena posisi sensor syaraf pendengaran manusia berada pada daerah tersebut.

Referensi

Cameron, John R, Skofronick and James G, 1978. Medical Physics, John Willey & Sons, Canada.

Doni Hidayat, 2001. Penggunaan Suara Alami sebagai Sound Therapy untuk Meningkatkan Aktivitas Gelombang Alpha dan Tetha, *Tugas Akhir Departemen Teknik Fisika ITB*.

Dinda Karmilasari, 2002. Pengaruh Suara pada Sinyal Otak Manusia, *Tugas Akhir Departemen Teknik Fisika ITB*.

Guyton dan Hall, 1997. Buku Ajar Fisiologi Kedokteran, Penerbit EGC, Jakarta.

Hicks, Charles R, 1993. Fundamental Concepts in the Design of Experiments, 4th ed. Holt, Rinehart, and Wiston, Inc. Florida.

Joseph J. Carr dan John M. Brown, 2001. Introduction to Biomedical Equipment Technology, 4th ed. Prentice Hall. Ohio.