Analisis Aktivitas Area Brodmann Menggunakan Sistem Elektroda 10-10 *Electroencephalogram* (EEG) dengan Pendekatan Aljabar Boolean

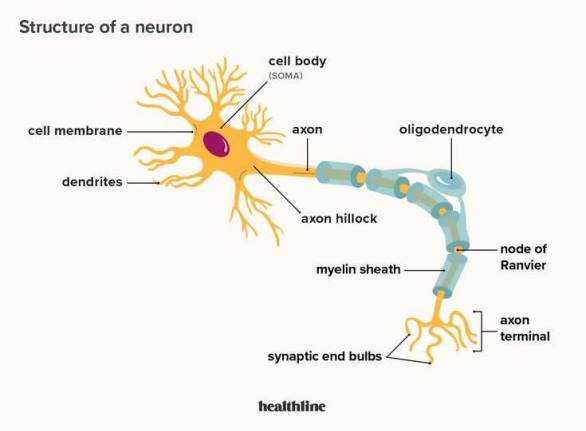
Steven Tjhia - 13522103[1]
Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
[1]13522103@itb.ac.id

***Abstrak* — Teknologi berkembang dengan sangat cepat, banyak perangkat bermunculan untuk melakukan analisis terhadap suatu hal, salah satunya aktivitas otak. Setiap area pada Brodmann Area menandakan fungsi yang berbeda pada otak manusia. Sistem 10-20 EEG dapat digunakan untuk menentukan area dari Brodmann Area yang sedang aktif. Dengan banyaknya elektroda yang digunakan pada sistem 10-10 dan 10-20 EEG, untuk memonitor aktivitas setiap area pada Brodmann Area perlu dibuat rancangan rangkaian logika dengan pendekatan aljabar boolean.**

***Kata Kunci* —** *aktivitas otak, aljabar boolean, brodmann area, electroencephalogram (EEG), neuroscience, sistem 10-20*.

I. PENDAHULUAN

Otak manusia tersusun atas berbagai sel saraf neuron, setiap neuron tersusun atas badan sel, dendrit, akson, dan sinaps.

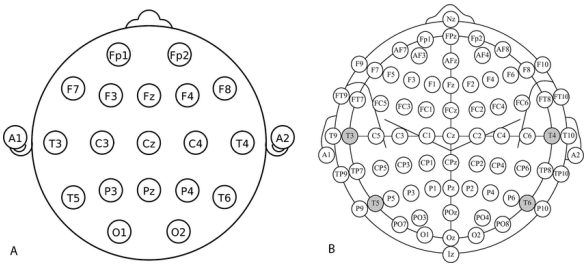


Gambar 1 Struktur Neuron
Sumber : https://www.healthline.com/health/neurons#anatomy

Otak manusia tidak dapat bekerja tanpa adanya sel neuron. Setiap neuron pada otak manusia berkomunikasi dengan menghantarkan sinyal listrik. Dengan demikian, informasi mengenai aktivitas neuron dapat dideteksi menggunakan *electroencephalography* (EEG). EEG atau *Electroencephalography* merupakan alat yang digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai aktivitas di otak.

Gambar 2 *Encephalogarphy* (EEG)
(Sumber : https://www.halodoc.com/kesehatan/pemeriksaan-electroencephalography-eeg)

Terdapat dua jenis sistem *encephalography* (EEG) yaitu sistem 10-10 dan sistem 10-20. Perbedaan keduanya terletak pada penempatan elektroda. dan jumlah elektroda yang digunakan. Sistem 10-10 menggunakan lebih banyak elektroda dibandingkan dengan sistem 10-20, sehingga dapat mendapatkan lebih banyak informasi mengenai aktivitas simpuls elektron pada neuron di dalam otak.



A : Sistem 10-20 EEG dan B : Sistem 10-10 EEG
Sumber : https://www.researchgate.net/figure/Electrode-placement-according-to-the-International-10-20-A-and-10-10-B-system-Odd_fig4_299343988

Letak setiap elektroda pada sistem 10-10 EEG tidak tepat satu-satu dengan Area Brodmann, tetapi setiap Area Brodmann memiliki beberapa elektroda terdekat. Dengan pertimbangan letak Area Brodmann terhadap posisi elektroda 10-10 EEG, makalah ini dibuat untuk menganalisis Area Brodmann yang sedang aktif dengan pendekatan aljabar boolean.

II. TEORI DASAR

A. Aljabar Boolean

Aljabar Boolean pertama kali ditemukan pada tahun 1854 oleh seorang matematikawan Inggris yang bernama George Boole. Adapun definisi dari aljabar boolean adalah sebagai berikut: Misalkan B adalah himpunan yang didefinisikan pada dua operator biner, " + " dan " · ", dan sebuah operator uner " ' ". Misalkan "0" dan "1" adalah dua elemen yang berbeda dari B. Maka, tupel:

$$< B, +, \cdot, ', 0, 1 >$$

disebut aljabar boolean, jika untuk setiap a, b, c $\in$ B berlaku aksioma berikut:

1. Identitas
   (i) $a + 0 = a$
   (ii) $a \cdot 1 = a$

2. Komutatif
   (i) $a + b = b + a$
   (ii) $a \cdot b = b \cdot a$

3. Distributif
   (i) $a \cdot (b + c) = (a \cdot b) + (a \cdot c)$
   (ii) $a + (b \cdot c) = (a + b) \cdot (a + c)$

4. Komplemen Untuk setiap a $\in$ B, terdapat elemen unik a' $\in$ B,
   (i) $a + a' = 1$
   (ii) $a \cdot a' = 0$

Untuk memiliki sebuah aljabar boolean, harus diperlihatkan hal-hal berikut ini:

1. Elemen-elemen himpunan B,
2. Kaidah/aturan operasi untuk dua operator biner dan operator uner,
3. Himpunan B, bersama-sama dengan dua operator tersebut, memenuhi keempat aksioma di atas

Terdapat sepuluh hukum pada aljabar boolean:

1. Hukum Identitas
   (i) $a + 0 = a$
   (ii) $a \cdot 1 = a$

2. Hukum Idempoten
   (i) $a + a = a$
   (ii) $a \cdot a = a$

3. Hukum Komplemen
   (i) $a + a' = 1$
   (ii) $a \cdot a' = 0$

4. Hukum Null/Dominasi
   (i) $a \cdot 0 = 0$
   (ii) $a + 1 = 1$

5. Hukum Involusi
   (i) $(a')' = a$

6. Hukum Penyerapan
   (i) $a + a \cdot b = a$
   (ii) $a \cdot (a + b) = a$

7. Hukum Komutatif
   (i) $a + b = b + a$
   (ii) $a \cdot b = b \cdot a$

8. Hukum Asosiatif
   (i) $a + (b + c) = (a + b) + c$
   (ii) $a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c$

9. Hukum Distributif
   (i) $a + (b \cdot c) = (a + b) \cdot (a + c)$
   (ii) $a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$

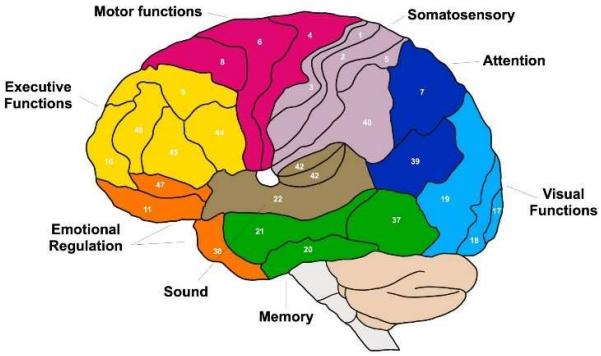
10. Hukum De Morgan
    (i) $(a + b)' = a' \cdot b'$
    (ii) $(a \cdot b)' = a' + b'$

11. Hukum 0/1
    (i) $0' = 1$
    (ii) $1' = 0$

B. Area Brodmann

Area Brodmann berasal dari Neurologis Jerman, Korbinian Brodmann. Brodmann (1909) sangat tekun dalam meneliti korteks dan mengamati lapisan, jaringan, neuron, serta sel lainnya dengan struktur dan ukuran yang berbeda. Sebelum adanya penelitian yang dilakukan oleh Brodmann, beberapa area dari otak telah diteliti oleh Broca ataupun Wernicke. Area tersebut diidentifikasi setelah adanya kerusakan yang ditemukan di area tersebut, tepatnya ketika adanya penurunan kecerdasan dalam hal bahasa dari seseorang. Pemetaan Brodmann mencakup hingga hal detail fungsi pada setiap area korteks.

Area Brodmann merupakan pembagian daerah pada bagian korteks otak besar berdasarkan sel-sel saraf penyusun jaringannya (*cytoarchitecture*). Area Brodmann membantu untuk mengetahui fungsi otak pada setiap area otak, seperti pemrosesan sensorik, fungsi motorik, regulasi emosi, dan fungsi kognitif. Beberapa Area Brodmann yang penting adalah area 1 - 11, 17 – 32, dan 37 – 47.



Sumber : https://www.simplypsychology.org/brodmann-areas.html

Gabungan atau kombinasi dari beberapa area brodmann dapat bersama-sama menjalankan suatu fungsi khusus pada otak manusia (angka menyatakan angka pada area brodmann):

1. Primary Motor : ba1, ba2, ba3, ba4
2. Secondary Motor : ba6, ba8
3. Motor Planning : ba6, ba13-16; ba24, ba32-33

4. Motor Learning : ba1-3, ba4, ba6, ba8, ba23, ba26, ba29-31
5. Saccadic Movements : ba4, ba5, ba6, ba7, ba8, ba17, ba18, ba19, ba46
6. Inhibition of Blinking : ba4
7. Proprioception : ba1-3, ba4, ba8
8. Touch, temperature, vibration : ba1-3, ba4, ba5, ba7, ba13-16
9. Somatosensory integration : ba40
10. Basic processing : ba41, ba42
11. Complex sounds processing : ba21, ba22
12. Auditory Imagery : ba8, ba9, ba10
13. Familiar voices : ba38
14. Light intensity / patterns : ba17, ba18, ba19
15. Color discrimination : ba17
16. Visual integration : ba20
17. Visual motion processing 37
18. General olfaction 11
19. Familiar odors 9, 10; 24, 32-33; 44, 45, 47
20. Comprehension Language 22, 20, 21, 37, 39, 40, 5, 7, 6, 9, 10, 23, 26, 29-31, 38, 43, 44, 45,47
21. Expression 44, 45, 46, 6, 8, 9, 10, 13-16, 21; 24, 32-33; 47
22. Prosody comprehension 22,
23. Reading 6, 39
24. Writing 40
25. Working Memory 5, 7, 6, 8, 9, 10, 20; 24, 32-33; 40, 41, 44, 45, 46, 47; (27-28, 34-36, 48)
26. Episodic memory 6, 44, 45, 47
27. Memory Retrieval 8, 9, 10,; 26, 29, 29-31; 24, 32-33; 38, 40,
28. Memory Encoding (27-28, 34-36, 48); 9, 10; 24, 32-33; 37, 46
29. Topokinetic 23, 26, 29-31
30. Visual 17, 18, 37
31. Visuomotor 5, 7, 6, 8
32. Visuospatial 6, 8; 39, 24, 32-33; 45
33. Selective to sounds 6, 9, 10,; 24, 32-33
34. To speech 20, 22,; 23, 26, 29-31; 38, 47
35. Planning 6, 8, 9, 10
36. Behavioral inhibition 6, 8, 9, 10, 13-16; 24, 32-33; 39, 40, 44 , 46, 47
37. Motor inhibition 24, 32-33, 44, 45, 47
38. Experiencing / processing emotion 38, 46; (27-28, 34-36, 48)
39. Related to language 23, 26, 29-31; 25,
40. Emotional stimuli 9, 10; 24, 32-33
41. Fear response 13-16
42. Pain processing 13-16; 24, 32-33, 5, 7
43. Calculation 39, 40, 6, 8, 9, 10, 13-16, 46
44. Theory of mind 38, 9, 10, 20, 21, 22, 37, 47
45. Face recognition 37
46. Mental time-keeping 24, 32-33
47. Sexual arousal 24, 32-33
48. Humor comprehension 38
49. Music performance 40
50. Music enjoyment 44, 45, 46
51. Navegational skills (27-28, 34-36, 48)
52. Novelty discrimination (27-28, 34-36, 48)

C. Encephaolography (EEG)

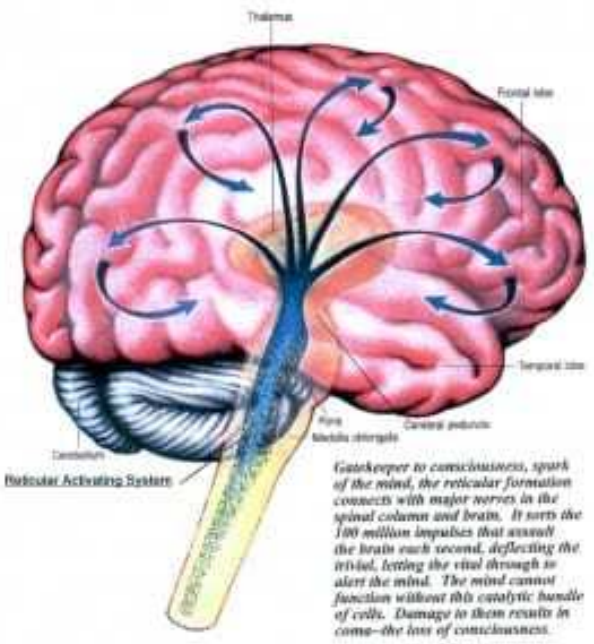
EEG digunakan pada beberapa pemeriksaan seperti:

1. Pemeriksaan EEG Rutin
   Selama pemeriksaan, pasien diminta untuk menarik dan menghembuskan napas dalam-dalam selama beberapa menit. Durasi pemeriksaan ini adalah sekitar 20-40 menit.

2. EEG Terkait Masalah Tidur
   Pemeriksaan ini dilakukan untuk memastikan ada atau tidaknya gangguan tidur yang terjadi.

3. EEG Rawat Jalan
   Pemeriksaan ini dilakukan untuk memeriksa aktivitas otak sepanjang hari selama satu hari atau lebih.

Dengan adanya EEG, perkembangan teknologi dan juga kemajuan neuroscience berkembang dengan cepat.



Gambar Aktivitas Listrik Otak dari Thalamus yang disebarkan ke seluruh bagian otak

Sumber: https://rsa.ugm.ac.id/2014/05/rekam-otak-eeg-40-channel-with-brain-mapping/

III. Implementasi dalam bahasa pemrograman

A. *Truth Table*

Truth table antara Area Brodmann dengan elektroda sistem 10-10 EEG. Cara membacanya adalah dengan membaca per baris, misal baris pertama adalah “ba1L” yang berarti Area Brodmann 1 pada bagian otak sebelah kiri. Area Brodmann “ba1L” ini terdeteksi aktif jika kondisi elektroda C3, C1, Cz, CP3, dan CP1 menyala (angka 1), begitu juga untuk yang lainnya.

Elektroda 10-10 EEG

Area Brodmann	FP1	FPz	FP2	AF7	AF3	Afz	AF4	AF8	F7	F5	F3	F1	Fz	F2	F4	F6	F8	FT9	FT7	FC5	FC3	FC1	FCz	FC2	FC4	FC6	FT8	FT10
ba1L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba2L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
ba3L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
ba4L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
ba5L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba6L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
ba7L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba8L	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba9L	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba10L	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba11L	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba17L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba18L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba19L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba20L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba21L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba22L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba23L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba24L	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba31L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba32L	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba37L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba38L	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba39L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba40L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba41L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ba42L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba44L	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ba45L	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ba46L	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba47L	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Area Brodmann	T7	T8	C5	C3	C1	Cz	C2	C4	C6	CP2	CP4	CP6	TP7	CP5	CP3	CP1	CPz	TP8	P9	P7	P5	P3	P1	Pz	P2	P4	P6	P8	P10	PO7	PO3	POz	PO4	PO8	O1	Oz	O2
ba1L	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba2L	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba3L	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba4L	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba5L	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba6L	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba7L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba8L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba9L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba10L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba11L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba17L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
ba18L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0
ba19L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
ba20L	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba21L	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba22L	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba23L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
ba24L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba31L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba32L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba37L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
ba38L	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba39L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
ba40L	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba41L	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba42L	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba44L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba45L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba46L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba47L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Gambar Truth Table antara Area Brodmann bagian Kiri dengan Elektroda 10-10 EEG

Elektroda 10-10 EEG

Area Brodmann	FP1	FPz	FP2	AF7	AF3	Afz	AF4	AF8	F7	F5	F3	F1	Fz	F2	F4	F6	F8	FT9	FT7	FC5	FC3	FC1	FCz	FC2	FC4	FC6	FT8	FT10
ba1R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
ba2R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
ba3R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
ba4R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
ba5R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba6R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
ba7R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba8R	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba9R	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba10R	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba11R	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba17R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba18R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba19R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba20R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
ba21R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
ba22R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
ba23R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba24R	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba31R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba32R	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba37R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba38R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
ba39R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba40R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba41R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
ba42R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
ba44R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
ba45R	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
ba46R	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba47R	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

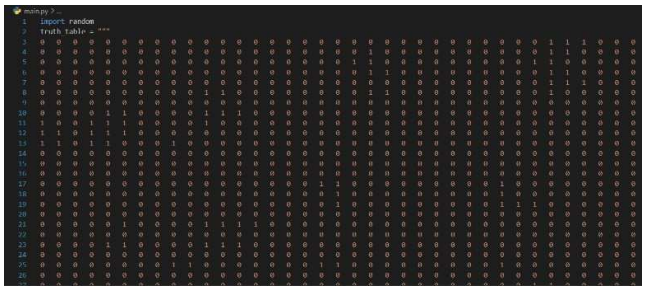
Area Brodmann	T7	T8	C5	C3	C1	Cz	C2	C4	C6	CP2	CP4	CP6	TP7	CP5	CP3	CP1	CPz	TP8	P9	P7	P5	P3	P1	Pz	P2	P4	P6	P8	P10	PO7	PO3	Poz	PO4	PO8	O1	Oz	O2
ba1R	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba2R	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba3R	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba4R	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba5R	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba6R	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba7R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba8R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba9R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba10R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba11R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba17R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
ba18R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1
ba19R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
ba20R	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ba21R	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba22R	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba23R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
ba24R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba31R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
ba32R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba37R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
ba38R	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba39R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
ba40R	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba41R	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba42R	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba44R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba45R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba46R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ba47R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Gambar Truth Table antara Area Brodmann bagian Kanan dengan Elektroda 10-10 EEG

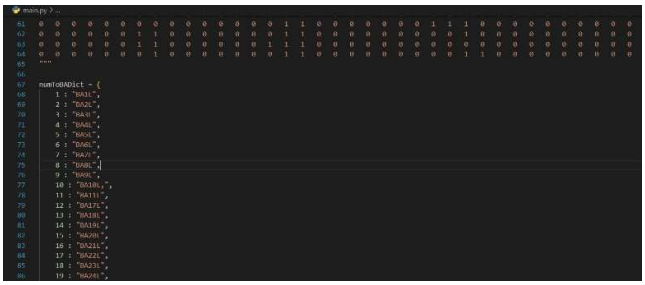
B. *Alur Program Utama*

Bahasa pemrograman yang digunakan untuk implementasi ini adalah python. Mengapa python? Karena python merupakan bahasa pemrograman yang sangat mudah terutama dalam hal konversi dari bentuk string menjadi bentuk array. Program yang dibuat merupakan simulasi, pada awal program akan dilakukan pengacakan area brodmann yang aktif. Setelah itu, list yang berisi kondisi setiap elektroda pada sistem 10-10 EEG akan terinisialisasi sesuai dengan area brodmann yang aktif hasil pengacakan di awal. Setelah itu di akhir akan dilakukan pendeteksian area brodmann yang aktif berdasarkan kondisi elektroda 10-10 EEG.

C. Inisialisasi Truth Table dan Dictionary



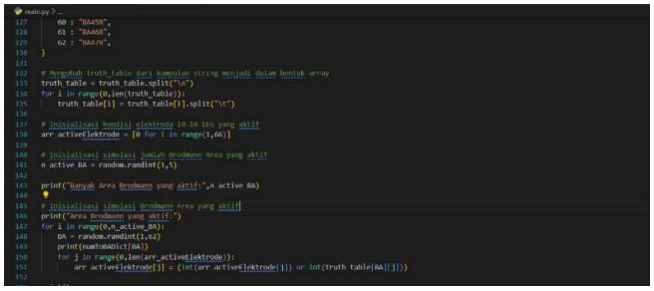
Gambar Inisialisasi Truth Table (Tidak ditampilkan seluruhnya karena sangat panjang dan lebar)



Gambar Inisialisasi Dictionary untuk penamaan Area Brodmann (Tidak ditampilkan seluruhnya karena sangat panjang)

D. Inisialisasi Simulasi

Simulasi dimulai dengan mengacak banyak area brodmann yang aktif, kemudian *arr_activeElektrode* akan terinisialisasi dengan kondisi setiap elektroda, angka 1 menandatakan elektroda tersebut menerima impuls elektron. Jenis elektroda pada masing-masing index dalam *arr_activeElektrode* terurut sesuai dengan urutan pada *Truth Table*.

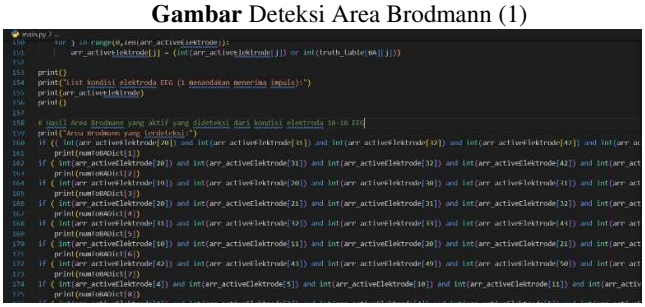


Gambar Inisialisasi Simulasi

E. Deteksi Area Brodmann yang Aktif

Pada bagian pendeteksian area brodmann yang aktif inilah digunakan pendekatan aljabar boolean. Implementasinya cukup sederhana: jika kondisi lima elektroda tertentu sedang aktif (berangka 1), maka hal tersebut mengindikasikan area brodmann yang berkaitan sedang aktif. Operator yang digunakan adalah operator biner yaitu AND. Sebenarnya hal tersebut mirip seperti *decision tree*, tetapi implementasi *decision tree* akan sangat tidak efektif mengingat terdapat 65 elektroda yang memiliki 2 kondisi (angka 1 untuk aktif dan angka 0 untuk tidak aktif).

Gambar Deteksi Area Brodmann (1)



Gambar Deteksi Area Brodmann (2)

Gambar Deteksi Area Brodmann (3)

Gambar Deteksi Area Brodmann (4)

IV. STUDI KASUS DAN ANALISIS

A. *Simulasi yang Berhasil*

```
Banyak Area Brodmann yang aktif: 1
Area Brodmann yang aktif:
BA1R

List kondisi elektroda EEG (1 menandakan menerima impuls):
[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]

Area Brodmann yang terdeteksi:
BA1R
```

Gambar Simulasi yang berhasil (1)

```
Banyak Area Brodmann yang aktif: 2
Area Brodmann yang aktif:
BA1R
BA37R

List kondisi elektroda EEG (1 menandakan menerima impuls):
[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0]

Area Brodmann yang terdeteksi:
BA1R
BA37R
```

Gambar Simulasi yang berhasil (2)

```
Banyak Area Brodmann yang aktif: 2
Area Brodmann yang aktif:
BA47L
BA47R

List kondisi elektroda EEG (1 menandakan menerima impuls):
[0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0
, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]

Area Brodmann yang terdeteksi:
BA47L
BA47R
```

Gambar Simulasi yang berhasil (3)

B. *Simulasi yang Tidak Berhasil*

```
Banyak Area Brodmann yang aktif: 3
Area Brodmann yang aktif:
BA9L
BA19L
BA44L

List kondisi elektroda EEG (1 menandakan menerima impuls):
[1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0]

Area Brodmann yang terdeteksi:
BA9L
BA19L
BA44L
BA45L
BA46L
```

Gambar Simulasi yang Tidak Berhasil (1)

```
Banyak Area Brodmann yang aktif: 4
Area Brodmann yang aktif:
BA9R
BA24R
BA4R
BA18L

List kondisi elektroda EEG (1 menandakan menerima impuls):
[0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0
, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0]

Area Brodmann yang terdeteksi:
BA18L
BA4R
BA6R
BA9R
BA24R
```

Gambar Simulasi yang Tidak Berhasil (2)

C. *Analisis dan Pembahasan*

Ketika dilakukan simulasi, terdapat simulasi yang berhasil namun ada juga simulasi yang tidak berhasil. Simulasi yang tidak berhasil dapat terjadi ketika kondisi elektroda gabungan dari area brodmann yang awalnya aktif memiliki *subset* dari syarat kondisi area brodmann yang lain untuk terdeteksi. Seperti misalnya pada contoh simulasi yang tidak berhasil (2), area brodmann yang sebenarnya aktif adalah BA9R, BA24R, BA4R, dan BA18L. Area Brodmann BA18L akan mengaktifkan elektroda pada *arr_activeElektrode* indeks ke 57, 58, 59, 62, dan 63. Area Brodmann BA4R akan mengaktifkan elektroda pada *arr_activeElektrode* indeks ke 23, 24, 34, 35, dan 36. Area Brodmann BA9R akan mengaktifkan elektroda pada *arr_activeElektrode* indeks ke 2, 5, 6, 7, dan 14. Area Brodmann BA24R akan mengaktifkan elektroda pada *arr_activeElektrode* indeks ke 5, 11, 12, 13, dan 14. Sedangkan area brodmann BA6R, yang seharusnya tidak terdeteksi, ikut terdeteksi karena BA6R akan terdeteksi ketika elektroda pada *arr_activeElektrode* bernilai 1 pada indeks ke 13, 14, 23 , 24, dan 35. Jadi BA6R ikut terdeteksi juga ketika area brodmann BA24R (mengaktifkan elektroda 13 dan 14) dan area brodmann BA4R (mengaktifkan elektroda 23, 24, dan 35) aktif.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari beberapa simulasi, program yang telah dibuat belum dapat menyelesaikan seluruh kemungkinan yang mungkin terjadi. Meskipun terdapat beberapa hasil simulasi yang berhasil, program ini belum dapat bekerja dengan baik sepenuhnya dan masih perlu diadakan berbagai peningkatan lainnya seperti mempertimbangkan beberapa parameter lain ataupun mengubah algoritma keseluruhannya atau untuk masalah ini memanglah tidak ada solusi yang sempurna.

VI. LAMPIRAN

Kode program dapat diperiksa pada pranala berikut:
https://github.com/Zechtro/BrodmannArea_10-10_EEG

VII. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis memanjatkan puji dan syukur kepada Tuhan yang Maha Esa, atas penyertaan-Nya penulis dapat menyelesaikan makalah ini, meskipun tidak sempurna dan masih banyak kekurangan. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada teman-teman yang telah menemani dan memberi dukungan motivasi serta kedua orang tua yang senantiasa memberi dukungan. Tidak lupa, penulis juga ingin mengucapkan terimakasih kepada Ibu Dr. Fariska Zakhralativa Ruskanda, S.T., M.T., selaku dosen mata kuliah Matermatika Diskrit K02 yang telah memberikan ilmu kepada penulis untuk mengerjakan makalah ini.

REFERENSI

[1] Gerlach C, Law I, Gade A, Paulson OB. Categorization and category effects in normal object recognition: a PET study. Neuropsychologia. 2000;38(13):1693-703. doi: 10.1016/s0028-3932(00)00082-8. PMID: 11099727.

[2] Munir, Rinaldi. 2023. Aljabar Boolean (Bagian 1). Diakses dari https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/matdis23-24.htm tanggal 9 Desember 2023.

[3] Munir, Rinaldi. 2023. Aljabar Boolean (Bagian 2). Diakses dari https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/matdis23-24.htm tanggal 8 Desember 2023.

[4] Munir, Rinaldi. 2023. Aljabar Boolean (Bagian 3). Diakses dari https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/matdis23-24.htm tanggal 8 Desember 2023.

[5] Diakses dari https://www.brainm.com/software/pubs/dg/BA_10-20_ROI_Talairach/nearesteeg.htm pada 9 Desember 2023.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 11 Desember 2023

Steven Tjhia
13522103