

Aplikasi Aljabar Boolean dan Graf dalam Penentuan Nyala Lampu Otomatis Berdasarkan Sensor Cahaya, Sensor Gerak, dan Kondisi Nyala Lampu Ruangan Bersebelahan untuk Penghematan Listrik

Aurelius Justin Philo Fanjaya - 13522020¹

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

¹13522020@mahasiswa.itb.ac.id

Abstract—Penentuan nyala lampu otomatis dengan sensor gerak manusia digunakan dalam otomasi rumah atau bangunan untuk mengurangi atau menghilangkan sama sekali peran manusia dalam menyalakan dan mematikan lampu. Efisiensi dalam hal ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan aljabar boolean untuk menentukan apakah benar ruangan membutuhkan lampu untuk dinyalakan atau tidak. Makalah ini membahas aplikasi aljabar boolean dengan pendekatan peta karnaugh dalam penentuan nyala lampu menggunakan sensor gerak untuk meningkatkan penghematan listrik.

Keywords—aljabar boolean, sensor gerak, otomasi rumah, peta karnaugh



Gambar 1.1. Teknologi smart home

(sumber:

<https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/smart-home-or-building>)

I. PENDAHULUAN

Di zaman modern ini, semakin banyak teknologi yang dipakai dalam kehidupan sehari-hari. Teknologi-teknologi ini dipakai untuk mempermudah kehidupan sehari-hari manusia. Salah satu teknologi yang semakin populer dari tahun ke tahun adalah *smart home* atau rumah pintar.

Smart home adalah teknologi pendukung rumah tinggal berupa versi “pintar” dari peralatan dan barang-barang rumah tangga sehari-hari. Contoh dari teknologi *smart home* adalah lampu, saklar lampu, stop kontak, bel, kunci rumah, kulkas, dan lain-lain. Alat-alat ini seringkali dihubungkan ke internet sehingga dapat saling menunjang satu sama lain, membentuk IoT atau *Internet of Things*.

Teknologi *smart home* yang akan dibahas dalam makalah ini secara khusus adalah teknologi lampu dan saklar lampu. Penerangan adalah hal yang sangat penting untuk suatu rumah dan tentu saja rumah pada umumnya pasti memiliki penerangan oleh lampu-lampu, baik di dalam ruangan maupun di luar ruangan. Oleh karena itu, lampu tentunya juga menjadi salah satu hal yang cukup berpengaruh terhadap penggunaan listrik di rumah.

Berangkat dari hal tersebut, penghematan listrik dengan meminimalisasi penggunaan lampu adalah hal utama yang akan dibahas dalam makalah ini. Di masa kini, sudah ada teknologi-teknologi atau upaya-upaya untuk melakukan penghematan penggunaan listrik oleh lampu pada *smart home*. Beberapa contoh dari upaya tersebut adalah dengan *light intensity sensor* dan *human detection sensor*. Sensor akan mendeteksi tingkat intensitas cahaya dan menentukan apakah lampu perlu dinyalakan atau tidak. Selain itu, sensor gerak juga digunakan untuk mendeteksi apakah ada manusia di tempat yang diterangi dan menentukan dibutuhkan atau tidaknya nyalam lampu berdasarkan hal tersebut.

Penelitian dalam makalah ini mencoba untuk membawa hal ini lebih jauh lagi, yaitu dengan mendeteksi apakah lampu-lampu dari tempat yang berdekatan menyala, dan menentukan nyala lampu berdasarkan hal tersebut, dengan tambahan sensor intensitas cahaya dan sensor gerak manusia.

II. LANDASAN TEORI

A. Aljabar Boolean

Aljabar Boolean adalah jenis aljabar matematika yang nilai-nilai variabelnya mengandung nilai kebernara (truth value), yaitu nilai *true* dan *false* yang masing-masing disimbolkan

dengan angka 0 (*false*) dan 1 (*true*).

Aljabar Boolean secara luas digunakan untuk menganalisis dan menyederhanakan sirkuit digital dan gerbang logika. Aplikasi dari aljabar boolean sendiri adalah di bidang perancangan rangkaian pensaklaran, rangkaian digital, dan rangkaian IC (*Integrated Circuit*) komputer.

Aljabar Boolean adalah tupel

$$\langle B, +, \cdot, ', 0, 1 \rangle$$

Dengan B adalah himpunan yang didefinisikan pada dua operator biner, $+$ dan \cdot , dan sebuah operator uner, $'$. 0 dan 1 adalah dua elemen yang berbeda dari B .

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

1. Identitas

- 1) $a + 0 = a$
- 2) $a \cdot 1 = a$

2. Komutatif

- 1) $a + b = b + a$
- 2) $a \cdot b = b \cdot a$

3. Distributif

- 1) $a \cdot (b + c) = (a \cdot b) + (a \cdot c)$
- 2) $a + (b \cdot c) = (a + b) \cdot (a + c)$

4. Komplemen

Untuk setiap $a \in B$ terdapat elemen unik $a' \in B$ sehingga

- 1) $a + a' = 1$
- 2) $a \cdot a' = 0$

Aljabar Boolean juga memiliki beberapa hukum-hukum dasar yang sangat penting. Hukum-hukum dasar aljabar boolean adalah sebagai berikut.

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 Dominasi

- i. $a \cdot 0 = 0$
- ii. $a + 1 = 1$

5. Hukum Involusi

- i. $(a')' = a$

6. Hukum Penyerapan

- i. $a + ab = a$
- ii. $a(a + b) = a$

7. Hukum Komutatif

- i. $a + b = b + a$
- ii. $ab = ba$

8. Hukum Asosiatif

- i. $a + (b + c) = (a + b) + c$

- ii. $a(bc) = (ab)c$

9. Hukum Distributif

- i. $a + (b \cdot c) = (a + b) \cdot (a + c)$
- ii. $a \cdot (b + c) = ab + ac$

10. Hukum De Morgan

- i. $(a + b)' = a' \cdot b'$
- ii. $(ab)' = a' + b'$

11. Hukum 0/1

- i. $0' = 1$
- ii. $1' = 0$

Dalam aljabar boolean, terdapat fungsi boolean yang terdiri atas peubah dan bentuk komplemennya yang disebut literal. Terdapat 2 bentuk kanonik untuk menuliskan sebuah fungsi boolean, yaitu bentuk *Sum of Products* (SOP) yaitu penjumlahan dari hasil kali dan bentuk *Sum of Products* (POS) yaitu perkalian dari hasil jumlah. Penjelasan dari kedua bentuk tersebut adalah sebagai berikut.

1. *Sum of Products* (SOP)

Bentuk SOP atau penjumlahan dari hasil kali dituliskan sebagai penjumlahan suku-suku dalam bentuk *Minterm*. *Minterm* adalah suku di dalam ekspresi boolean yang mengandung literal yang lengkap dalam bentuk hasil kali.

Contohnya, fungsi $f(x, y, z) = x'y'z + xy'z' + xyz$ memiliki 3 buah minterm, yaitu $x'y'z$, $xy'z'$, xyz .

2. *Product of Sums* (POS)

Bentuk POS atau perkalian dari hasil jumlah dituliskan sebagai perkalian dari suku-suku dalam bentuk *Maxterm*. *Maxterm* adalah suku di dalam ekspresi boolean yang mengandung literal yang lengkap dalam bentuk hasil jumlah.

Contohnya, fungsi $g(x, y, z) = (x + y + z)(x + y' + z)(x + y' + z')(x' + y + z')(x' + y' + z)$ memiliki 5 buah maxterm, yaitu $(x + y + z)$, $(x + y' + z)$, $(x + y' + z')$, $(x' + y + z')$, dan $(x' + y' + z)$.

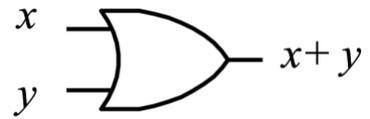
B. Peta Karnaugh

Fungsi boolean dapat dinyatakan dalam berbagai macam bentuk yang berbeda (misalnya SOP dan POS di atas), tetapi ada kemungkinan bahwa bentuk tersebut bukanlah bentuk yang paling optimal. Optimasi fungsi dalam aljabar boolean dilakukan untuk mencari bentuk fungsi lain yang ekuivalen, tetapi dengan jumlah literal atau operasi yang lebih sedikit. Hal ini dilakukan agar rangkaian logika yang dihasilkan dari sebuah fungsi lebih sederhana.

Salah satu cara mengoptimasi sebuah fungsi aljabar Boolean adalah dengan menggunakan peta *Karnaugh*. Peta Karnaugh (K-map) adalah sebuah metode grafis untuk menyederhanakan fungsi boolean. Peta Karnaugh merupakan sebuah diagram atau peta yang terbentuk dari kotak-kotak yang bersisian, di mana tiap kotak merepresentasikan sebuah minterm. Dalam kasus ini, akan dilakukan optimasi fungsi dengan 6 variabel, sehingga dibutuhkan Peta *Karnaugh* dengan 6 variabel.

A,B,C\D,E,F	000	001	011	010	110	111	101	100
000	0 ₀	1 ₁	0 ₃	0 ₂	0 ₆	0 ₇	1 ₅	0 ₄
001	0 ₈	1 ₉	0 ₁₁	0 ₁₀	0 ₁₄	0 ₁₅	0 ₁₃	0 ₁₂
011	0 ₂₄	0 ₂₅	0 ₂₇	0 ₂₆	0 ₃₀	0 ₃₁	0 ₂₉	0 ₂₈
010	0 ₁₆	1 ₁₇	0 ₁₉	0 ₁₈	0 ₂₂	0 ₂₃	0 ₂₁	0 ₂₀
110	0 ₄₈	0 ₄₉	0 ₅₁	0 ₅₀	0 ₅₄	0 ₅₅	0 ₅₃	0 ₅₂
111	0 ₅₆	0 ₅₇	0 ₅₉	0 ₅₈	0 ₆₂	0 ₆₃	0 ₆₁	0 ₆₀
101	0 ₄₀	0 ₄₁	0 ₄₃	0 ₄₂	0 ₄₆	0 ₄₇	0 ₄₅	0 ₄₄
100	0 ₃₂	1 ₃₃	0 ₃₅	0 ₃₄	0 ₃₈	0 ₃₉	0 ₃₇	0 ₃₆

Gambar 2.1. Peta Karnaugh 6 Variabel



Gambar 2.3. Gerbang OR

Input		Output
x	y	
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Tabel 2.2. Input dan Output Gerbang OR

C. Logic Gate (Gerbang Logika)

Sebuah fungsi boolean dapat juga direpresentasikan dalam bentuk rangkaian logika menggunakan gerbang logika atau *logic gate*. Gerbang logika secara umum dibagi menjadi 2 jenis, yaitu gerbang logika dasar dan gerbang logika turunan. Gerbang logika dasar terdiri atas Gerbang AND, Gerbang OR, dan Gerbang NOT (inverter). Gerbang logika turunan antara lain terdiri atas Gerbang NAND, Gerbang NOR, Gerbang XOR, dan Gerbang XNOR. Penjelasan dari masing-masing gerbang tersebut adalah sebagai berikut (gerbang logika turunan tidak dijelaskan dengan mendetail karena tidak digunakan di kasus ini).

1. Gerbang AND



Gambar 2.2. Gerbang AND

Input		Output
x	y	
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabel 2.1. Input dan Output Gerbang AND

2. Gerbang OR

3. Gerbang NOT (inverter)



Gambar 2.4. Gerbang NOT

Input	Output
x	
0	1
1	0

Tabel 2.3. Input dan Output Gerbang NOT

4. Gerbang NAND



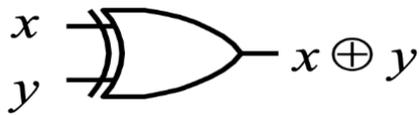
Gambar 2.5. Gerbang NAND

5. Gerbang NOR



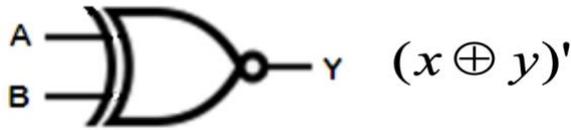
Gambar 2.6. Gerbang NOR

6. Gerbang XOR



Gambar 2.7. Gerbang XOR

7. Gerbang XNOR



Gambar 2.8. Gerbang XNOR

D. Graf

Graf adalah objek yang digunakan untuk merepresentasikan objek-objek diskrit dan hubungan antara objek-objek tersebut. Definisi Graf adalah objek yang terdiri atas himpunan simpul (*vertices*) dan himpunan sisi (*edges*). Berdasarkan ada tidaknya sisi gelang atau sisi ganda, graf dibagi menjadi 2 jenis yaitu graf sederhana dan graf tak-sederhana. Graf sederhana adalah graf yang tidak mengandung sisi gelang ataupun sisi ganda. Graf tak-sederhana adalah graf yang mengandung sisi ganda atau gelang. Pada makalah ini, hanya akan digunakan graf sederhana.

Salah satu terminologi dalam graf adalah ketetanggaan atau *adjacency*. Dua buah simpul dikatakan bertetangga bila keduanya terhubung langsung.

III. IMPLEMENTASI ALJABAR BOOLEAN PADA SISTEM LAMPU OTOMATIS

A. Konsep Dasar

Konsep dari sistem penentuan nyala dan mati lampu bergantung pada beberapa parameter, yaitu kondisi pencahayaan, ada tidaknya orang di dalam ruangan, dan kondisi nyala lampu pada ruangan-ruangan yang bersebelahan (*adjacent*). Penjelasan dari parameter-parameter tersebut adalah sebagai berikut.

1. Kondisi Pencahayaan

Kondisi pencahayaan atau tingkat intensitas cahaya di lingkungan berpengaruh dalam menentukan nyala atau tidaknya lampu. Tingkat pencahayaan dapat dideteksi oleh sensor intensitas cahaya. Jika kondisi pencahayaan gelap, maka lampu akan dinyalakan. Sebaliknya, jika kondisi pencahayaan sudah terang, maka lampu tidak akan dinyalakan.

2. Ada tidaknya orang di dalam ruangan

Ada atau tidaknya orang juga menentukan nyala atau tidaknya lampu. Ada tidaknya orang dapat dideteksi oleh *motion* sensor (sensor gerak) atau *human detection* sensor. Jika di ruangan ada orang, lampu akan dinyalakan. Sebaliknya, jika tidak ada orang di dalam ruangan, maka lampu tidak akan dinyalakan.

3. Kondisi Nyala Lampu pada ruangan – ruangan yang

bersebelahan

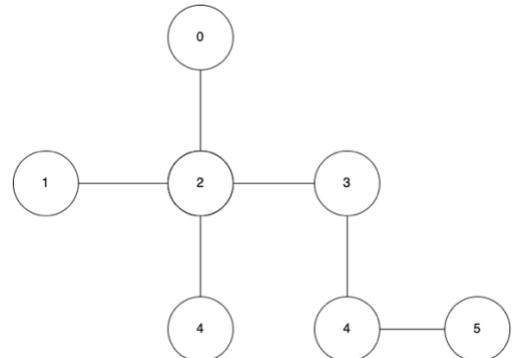
Parameter yang menjadi fokus dari makalah ini adalah kondisi nyala lampu pada ruangan-ruangan yang bersebelahan. Hal ini didasarkan fakta bahwa lampu dari ruangan-ruangan yang bersebelahan dapat ikut menerangi ruangan.

Hal yang perlu diperhatikan adalah fakta bahwa cahaya lampu dari sebuah ruangan lain mungkin tidak memberikan cahaya lampu yang cukup pada ruangan meskipun ruangan tersebut bersebelahan. Oleh sebab itu, lampu baru akan dinyalakan bila terdapat kurang dari 2 ruangan bersebelahan yang lampunya menyala.

Dalam makalah ini, kasus dibatasi pada ruangan yang memiliki maksimal 4 ruangan bersebelahan (*adjacent*). Jika ruangan memiliki jumlah ruangan bersebelahan kurang dari 4, maka lampu dari ruangan yang tidak ada tersebut akan selalu dianggap mati.

Untuk mempermudah penamaan, keempat ruangan bersebelahan (*adjacent*) yang berada di sekeliling ruangan akan dinamai ruangan 1, ruangan 2, ruangan 3, dan ruangan 4.

Untuk menggambarkan kondisi ruangan adjacent, tiap ruangan dalam suatu rumah atau bangunan akan digambarkan sebagai *node* sisi atau *edge* menghubungkan ruangan yang bersebelahan dan dapat menghantarkan cahaya. Contoh kasus ruangan pada sebuah rumah digambarkan sebagai graf berikut.



Gambar 3.1. Graf Contoh Penentuan Nyala Lampu

Jika ruangan 2 yang akan ditentukan nyala atau mati lampunya, maka ruangan yang dianggap bersebelahan adalah ruangan 0, 1, 3, dan 4. Jika ruangan 4 yang akan ditentukan nyala atau mati lampunya, maka ruangan 3 dan 5 yang akan dianggap bersebelahan dan akan dianggap ada 2 ruangan placeholder yang bersebelahan dengan 4 tetapi dengan kondisi lampu selalu mati agar jumlah ruangan bersebelahan selalu 4.

C. Variabel Fungsi Aljabar Boolean

Fungsi Aljabar Boolean dari persoalan ini akan memiliki 6 parameter variabel, yaitu

$$f(A, B, C, D, E, F)$$

Penjelasan dari masing-masing variabel tersebut adalah sebagai berikut.

1. A : Kondisi Nyala Lampu Ruangan 1.
→ 1 jika menyala dan 0 jika mati.

2. B : Kondisi Nyala Lampu Ruangan 2.
→ 1 jika menyala dan 0 jika mati.
3. C : Kondisi Nyala Lampu Ruangan 3.
→ 1 jika menyala dan 0 jika mati.
4. D : Kondisi Nyala Lampu Ruangan 4.
→ 1 jika menyala dan 0 jika mati.
5. E : Kondisi Pencahayaan dari Sensor Cahaya.
→ 1 jika terang dan 0 jika gelap.
6. F : Ada tidaknya orang di dalam ruangan.
→ 1 jika ada orang dan 0 jika tidak ada orang.

Fungsi $f(A, B, C, D, E, F)$ sendiri akan menghasilkan 1 jika lampu akan dinyalakan dan 0 jika lampu tetap mati.

D. Truth Table

Truth Table atau Tabel Kebenaran memiliki 64 baris karena fungsi memiliki 6 variabel ($2^6 = 64$). Truth Table dalam kasus ini adalah sebagai berikut.

	A	B	C	D	E	F	$f(A, B, C, D, E, F)$
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1	1
2	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	0	1	1	0
4	0	0	0	1	0	0	0
5	0	0	0	1	0	1	1
6	0	0	0	1	1	0	0
7	0	0	0	1	1	1	0
8	0	0	1	0	0	0	0
9	0	0	1	0	0	1	1
10	0	0	1	0	1	0	0
11	0	0	1	0	1	1	0
12	0	0	1	1	0	0	0
13	0	0	1	1	0	1	0
14	0	0	1	1	1	0	0
15	0	0	1	1	1	1	0
16	0	1	0	0	0	0	0
17	0	1	0	0	0	1	1
18	0	1	0	0	1	0	0
19	0	1	0	0	1	1	0
20	0	1	0	1	0	0	0
21	0	1	0	1	0	1	0
22	0	1	0	1	1	0	0
23	0	1	0	1	1	1	0
24	0	1	1	0	0	0	0
25	0	1	1	0	0	1	0
26	0	1	1	0	1	0	0
27	0	1	1	0	1	1	0
28	0	1	1	1	0	0	0
29	0	1	1	1	0	1	0
30	0	1	1	1	1	0	0

31	0	1	1	1	1	1	0
32	1	0	0	0	0	0	0
33	1	0	0	0	0	1	1
34	1	0	0	0	1	0	0
35	1	0	0	0	1	1	0
36	1	0	0	1	0	0	0
37	1	0	0	1	0	1	0
38	1	0	0	1	1	0	0
39	1	0	0	1	1	1	0
40	1	0	1	0	0	0	0
41	1	0	1	0	0	1	0
42	1	0	1	0	1	0	0
43	1	0	1	0	1	1	0
44	1	0	1	1	0	0	0
45	1	0	1	1	0	1	0
46	1	0	1	1	1	0	0
47	1	0	1	1	1	1	0
48	1	1	0	0	0	0	0
49	1	1	0	0	0	1	0
50	1	1	0	0	1	0	0
51	1	1	0	0	1	1	0
52	1	1	0	1	0	0	0
53	1	1	0	1	0	1	0
54	1	1	0	1	1	0	0
55	1	1	0	1	1	1	0
56	1	1	1	0	0	0	0
57	1	1	1	0	0	1	0
58	1	1	1	0	1	0	0
59	1	1	1	0	1	1	0
60	1	1	1	1	0	0	0
61	1	1	1	1	0	1	0
62	1	1	1	1	1	0	0
63	1	1	1	1	1	1	0

Tabel 3.1. Truth Table Penentuan Nyala Lampu

E. Peta Karnaugh

Untuk meminimasi Logic Gate yang akan digunakan, fungsi dapat dioptimasi menggunakan Peta Karnaugh. Peta karnaugh yang dihasilkan adalah sebagai berikut.

A,B,C \ D,E,F	000	001	011	010	110	111	101	100
000	0	1	0	0	0	0	1	0
001	0	1	0	0	0	0	0	0
011	0	0	0	0	0	0	0	0
010	0	1	0	0	0	0	0	0
110	0	0	0	0	0	0	0	0
111	0	0	0	0	0	0	0	0
101	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	1	0	0	0	0	0	0

Gambar 3.2. Peta Karnaugh Penentuan Nyala Lampu

Pewarnaan dilakukan untuk memperjelas pengelompokan yang berbeda. Pengelompokan yang dilakukan adalah 1 dengan 33 (merah), 1 dengan 5 (ungu), 1 dengan 9 (biru), dan 1 dengan 17 (hijau).

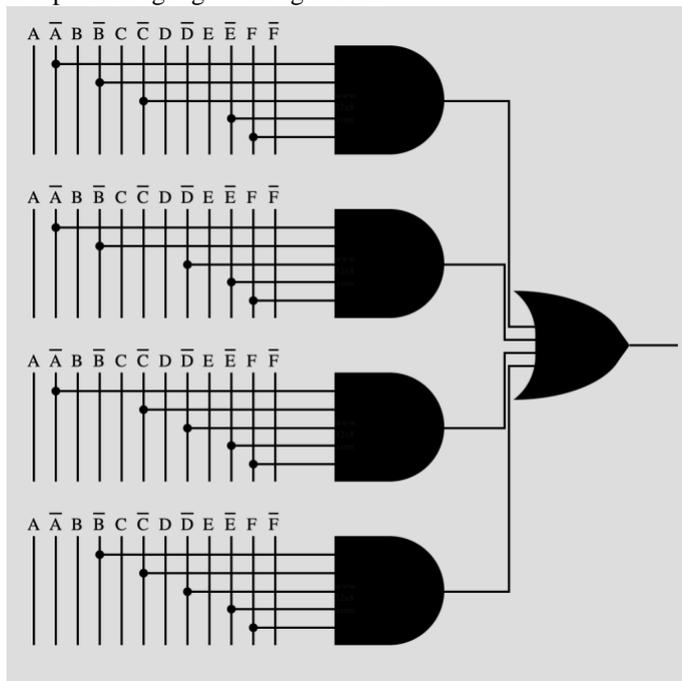
Berdasarkan peta Karnaugh, didapatkan fungsi $f(A, B, C, D, E, F)$ setelah dioptimasi adalah sebagai berikut.

$$f(A, B, C, D, E, F) =$$

$$B'C'D'E'F + A'C'D'E'F + A'B'D'E'F + A'B'C'E'F$$

F. Logic Gate

Berdasarkan fungsi $f(A, B, C, D, E, F)$ setelah dioptimasi, didapatkan logic gate sebagai berikut.



Gambar 3.3. Logic Gate Penentuan Nyala Lampu

IV. ANALISIS

Berdasarkan hasil yang didapatkan, dapat dilihat bahwa dengan menerapkan parameter ruangan adjacent, kasus di mana lampu harus dinyalakan menjadi berkurang. Lampu hanya akan dinyalakan jika kurang dari 2 dari 4 lampu menyala. Berarti, lampu hanya akan dinyalakan jika tidak ada lampu di ruang bersebelahan yang menyala atau hanya 1 ruangan dari keempat ruang bersebelahan yang lampunya menyala. Jika dihitung persentase kasusnya, dengan asumsi kemungkinan lampu menyala dan mati pada ruang bersebelahan sama, maka didapatkan hasil sebagai berikut.

$$\%Kasus = \frac{C(4,0) + C(4,1)}{2^4} = \frac{1 + 4}{16} = \frac{5}{16} = 31.25\%$$

Perlu diperhatikan bahwa angka tersebut didapatkan dengan menganggap kemungkinan lampu nyala dan mati di ruangan bersebelahan sama. Meskipun demikian, angka tersebut sudah sangat baik dengan mengurangi penggunaan lampu menjadi kurang dari sepertiganya.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapatkan bahwa aplikasi aljabar boolean dan graf dalam penentuan nyala lampu otomatis benar dapat meningkatkan penghematan listrik melalui berkurangnya kebutuhan untuk menyalakan lampu pada kondisi tertentu. Di dalam analisis, didapatkan bahwa hanya 31,25% kasus lampu harus dinyalakan jika ditambah kondisi lampu tidak dinyalakan bila 2 ruangan yang bersebelahan dengan ruangan tersebut sudah menyalakan lampunya. Dengan demikian, penggunaan listrik untuk lampu menjadi berkurang dan penghematan listrik dapat ditingkatkan

VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa karena berkat-Nya penulis dapat menyelesaikan makalah Matematika Diskrit ini tanpa kendala yang berarti. Tak lupa penulis juga berterimakasih kepada Dr. Ulfa Malidevi, S.T., M.Sc. selaku dosen Matematika Diskrit untuk K01 atas bimbingannya selama 1 Semester terakhir dalam mata kuliah IF2120 Matematika Diskrit. Penulis berharap makalah ini dapat bermanfaat dan menjadi referensi di masa depan.

REFERENCES

- [1] J. P. Tuohy, "What is a smart home, and do you need one?," *The Verge*, Jun. 12, 2023. <https://www.theverge.com/23749376/smart-home-explained-voice-assistant-tv-gadgets> (accessed 11 December 2023)
- [2] R. Munir, "Graf (Bag.1) Bahan Kuliah IF2120 Matematika Diskrit," 2023. Available: <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/19-Graf-Bagian1-2023.pdf> (accessed 11 December 2023)
- [3] R. Munir, "Aljabar Boolean (Bag. 1)," 2023. Available: [https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/11-Aljabar-Boolean-\(2023\)-bagian1.pdf](https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/11-Aljabar-Boolean-(2023)-bagian1.pdf) (accessed 11 December 2023)
- [4] R. Munir, "Aljabar Boolean (Bag.2)," 2023. Accessed: Dec. 11, 2023. [Online]. Available: [https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/12-Aljabar-Boolean-\(2023\)-bagian2.pdf](https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/12-Aljabar-Boolean-(2023)-bagian2.pdf) (accessed 11 December 2023)
- [5] Trivusi, "Prinsip-Prinsip Hukum Aljabar Boolean dalam Sistem Digital," *Trivusi*, Sep. 02, 2022.

<https://www.trivusi.web.id/2022/08/aljabar-boolean.html> (accessed Dec. 11, 2023). (accessed 11 December 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



Aurelius Justin Philo Fanjaya 13522020