

Hazard Analysis dan Critical Control Point Ayam dengan Aljabar Boolean

Denise Felicia Tiowanni - 13522013¹

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

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

¹13522013@std.stei.itb.ac.id

Abstract—Prinsip *Hazard Analysis and Critical Control Point* atau HACCP yang bertujuan untuk mengidentifikasi, menilai, dan mengendalikan bahaya dalam produksi pangan dapat digunakan dalam menjamin keamanan konsumsi ayam. Fokus pada pencegahan membuat HACCP efektif dalam menjamin keselamatan pangan mulai dari panen hingga konsumsi. Ayam, sebagai sumber protein hewani penting, melalui berbagai tahap produksi, dan HACCP memainkan peran kunci dalam mencegah kontaminasi serta memastikan kepatuhan terhadap standar keamanan pangan. Aljabar Boolean digunakan untuk merumuskan model matematis yang mencerminkan hubungan antara faktor kritis dan kontrol pada tahap penyajian ayam.

Keywords—*Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP), Aljabar Boolean, Ayam, Keamanan Pangan, Peta Karnaugh.*

I. PENDAHULUAN

Menurut Food and Drug Administration (FDA) milik Amerika Serikat, HACCP atau *Hazard Analysis and Critical Control Point* adalah suatu pendekatan sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi, menilai, dan mengendalikan bahaya yang dapat timbul dalam proses produksi pangan. Berfokus pada pencegahan, HACCP dapat membantu perubahan termasuk merancang peralatan dan prosedur pengolahan. HACCP dianggap sebagai cara yang efektif dan rasional untuk menjamin keamanan pangan mulai dari panen hingga konsumsi.

Ayam merupakan salah satu sumber protein hewani yang penting dalam pola makan manusia. Proses produksi ayam melibatkan berbagai tahapan, mulai dari pemeliharaan hingga penyajian. Dalam konteks ini, HACCP memainkan peran penting untuk mencegah terjadinya kontaminasi dan memastikan bahwa setiap tahap produksi memenuhi standar keamanan pangan.

Ayam yang aman dikonsepsikan sebagai hasil produksi yang bebas dari bahaya yang dapat membahayakan kesehatan manusia. Hal ini mencakup kebersihan peternakan, penggunaan pakan yang aman, serta pemrosesan dan penyimpanan yang tepat. Bahaya-bahaya potensial dalam produksi ayam dapat berupa kontaminasi bakteri patogen, residu pestisida, zat kimia berbahaya, dan lainnya. HACCP membantu mengidentifikasi faktor-faktor ini dan memberikan kontrol yang tepat.

Kebersihan peternakan serta penggunaan pakan yang aman bagi ayam biasanya diluar kendali kita. Tidak banyak dari

masyarakat yang mengerti ataupun melihat secara langsung proses budidaya ternak ayam. Satu-satunya hal dapat kita kontrol untuk memastikan suatu ayam aman dikonsumsi terdapat pada proses penyajiannya.

Pada tahap penyajian ayam, ada beberapa hal yang dapat dijadikan tolak ukur apakah suatu ayam aman dikonsumsi atau tidak. Hal tersebut mencakup waktu pemrosesan ayam, peralatan masak yang digunakan, teknik pemrosesan dan penyimpanan ayam, kondisi fisik ayam, ataupun cara penyimpanan ayam. Berdasarkan hal-hal tersebut, dapat dilihat apakah suatu ayam termasuk aman dikonsumsi atau berpotensi menyebabkan keracunan makanan pada seseorang atau tidak.

Aljabar Boolean dapat digunakan untuk merumuskan model matematis yang merepresentasikan hubungan antara faktor-faktor kritis yang telah disebutkan dan kontrol yang diterapkan pada tahap penyajian ayam. Dengan menggunakan konsep Aljabar Boolean, kita dapat mengidentifikasi kombinasi kontrol yang efektif untuk memastikan keamanan ayam yang disajikan.

Dalam penggunaan Aljabar Boolean untuk memodelkan hubungan antara faktor-faktor kritis dan kontrol pada tahap penyajian ayam, kita dapat membangun suatu sistem logika yang membantu menentukan keamanan pangan.

II. DASAR TEORI

A. Hazard Analysis and Critical Control Point

Hazard Analysis and Critical Control Point atau HACCP dibentuk pada tahun 1995 oleh The National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods (NACMCF). HACCP mempunyai tujuh prinsip yang mencakup analisis bahaya, identifikasi CCP, penetapan batas kritis, prosedur pemantauan tindakan korektif, prosedur verifikasi, serta pencatatan dan dokumentasi. Dalam sistem ini, apabila terjadi deviasi yang menunjukkan bahwa suatu kontrol telah hilang, deviasi tersebut dideteksi dan langkah-langkah yang tepat kemudian diambil untuk memulihkan kontrol dengan cepat sehingga produk yang berpotensi berbahaya tidak sampai ke konsumen.

Dalam penerapan HACCP, penggunaan pengujian mikrobiologis jarang menjadi cara yang efektif untuk memantau CCP (*Critical Control Point*) karena waktu yang diperlukan untuk mendapatkan hasil. Dalam banyak kasus, pemantauan CCP dapat dilakukan dengan baik melalui penggunaan uji fisik dan kimia serta observasi visual.

NACMCF percaya bahwa prinsip-prinsip HACCP harus disesuaikan untuk memberikan keseragaman dalam pelatihan dan penerapan sistem HACCP oleh industri dan pemerintah, dimana sistem HACCP ini hendaknya dikembangkan oleh setiap lembaga pangan dan disesuaikan dengan produk, proses, maupun kondisi distribusi masing-masing. Dengan demikian, keamanan pangan dapat meningkat dan penggunaan sumber daya pun lebih optimal.

B. Pengertian Aljabar Boolean

Aljabar Boolean merupakan sebuah aturan dasar logika yang membentuk struktur matematika. George Boole, penemu aljabar Boolean, pada awalnya melihat bahwa himpunan dan logika proposisi mempunyai sifat-sifat yang serupa. Aljabar Boolean memberikan dasar untuk desain dan analisis sistem logika digital, yang digunakan dalam rangkaian elektronik dan komputasi.

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

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

1. Identitas
 - (i) $a + 0 = a$
 - (ii) $a + 1 = a$
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 $a' \in B$ sehingga

 - (i) $a + a' = 1$
 - (ii) $a \cdot a' = 0$

Dengan demikian, untuk dapat mempunyai suatu aljabar Boolean, kita harus memperlihatkan elemen-elemen pada himpunan B, kaidah/aturan operasi untuk operator biner dan uner, serta apakah himpunan B serta kedua operator memenuhi keempat aksioma diatas.

Salah satu jenis aljabar Boolean yang paling terkenal adalah aljabar Boolean 2-Nilai. Pada jenis aljabar ini, nilai yang terdapat pada himpunan B terbatas pada dua nilai, yaitu 0 dan 1 ($B = \{0, 1\}$). Pada aljabar ini berlaku beberapa kaidah untuk masing-masing operator biner (+ dan ·) dan operator uner ('), yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.1 Kaidah Operator Perkalian

a	b	a · b
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabel 2.2 Kaidah Operator Penjumlahan

a	b	a + b
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Tabel 2.3 Kaidah Operator Komplemen

a	a'
0	1
1	0

Dengan menggunakan operator-operator tersebut, k dapat dibentuk suatu ekspresi Boolean dari elemen-elemen B yang dapat digabungkan satu sama lain. Misalnya seperti $a' \cdot (b + c)$ atau $a' \cdot b \cdot (a + c)$.

C. Hukum-Hukum Aljabar Boolean

Dalam aljabar Boolean, berlaku hukum-hukum dimana dijabarkan sebagai berikut.

Tabel 2.4 Hukum-Hukum Aljabar Boolean

1. Identitas (i) $a + 0 = a$ (ii) $a \cdot 1 = a$	2. Idempoten (i) $a + a = a$ (ii) $a \cdot a = a$
3. Komplemen (i) $a + a' = 1$ (ii) $aa' = 0$	4. Dominansi (i) $a \cdot 0 = 0$ (ii) $a + 1 = 1$
5. Involusi (i) $(a')' = a$	6. Penyerapan (i) $a + ab = a$ (ii) $a(a + b) = a$
7. Komutatif (i) $a + b = b + a$ (ii) $ab = ba$	8. Asosiatif (i) $a + (b + c) = (a + b) + c$ (ii) $a(bc) = (ab)c$
9. Distributif (i) $a + (bc) = (a + b)(a + c)$ (ii) $a(b + c) = ab + ac$	10. De Morgan (i) $(a + b)' = a'b'$ (ii) $(ab)' = a' + b'$
11. 0/1 (i) $0' = 1$ (ii) $1' = 0$	

C. Ekspresi Boolean

Ekspresi Boolean yang menspesifikasikan suatu fungsi dapat disajikan dalam dua bentuk berbeda, yaitu penjumlahan dari hasil kali (*sum of product*) dan perkalian dan hasil jumlah (*product of sum*). Contohnya adalah sebagai berikut.

$$f(x, y, z) = x'y'z + xy'z' + xyz$$

$$g(x, y, z) = (x + y + z)(x + y' + z)(x + y' + z')(x' + y + z')(x' + y' + z)$$

dimana kedua fungsi diatas merupakan dua fungsi yang sama, hanya saja $f(x, y, z)$ dinyatakan dalam bentuk *sum of product* atau SOP dan $g(x, y, z)$ dinyatakan dalam bentuk *product of sum* atau POS.

Suku di dalam ekspresi Boolean yang mengandung literal lengkap dalam bentuk hasil kali disebut *minterm* dan disebut *maxterm* apabila suku berbentuk hasil jumlah. Dari contoh diatas, $f(x, y, z)$ memiliki 3 buah *minterm* dan $g(x, y, z)$ memiliki 5 buah *maxterm*.

Berikut adalah cara membentuk *minterm* dan *maxterm*.

- (i) Pada *minterm*, setiap peubah yang bernilai 0 dinyatakan dalam bentuk komplemen ('), sedangkan peubah yang bernilai 1 dinyatakan tanpa komplemen.
- (ii) Pada *maxterm*, setiap peubah yang bernilai 0 dinyatakan tanpa komplemen, sedangkan peubah yang bernilai 1 dinyatakan dalam bentuk komplemen (').

Tabel 2.5 *Minterm* dan *Maxterm* untuk Tabel Kebenaran 2 Peubah

x	y	minterm		maxterm	
		Suku	Lambang	Suku	Lambang
0	0	$x'y'$	m_0	$x + y$	M_0
0	1	$x'y$	m_1	$x + y'$	M_1
1	0	xy'	m_2	$x' + y$	M_2
1	1	xy	m_3	$x' + y'$	M_3

Tabel 2.6 *Minterm* dan *Maxterm* untuk Tabel Kebenaran 3 Peubah

x	y	z	minterm		maxterm	
			Suku	Lambang	Suku	Lambang
0	0	0	$x'y'z'$	m_0	$x + y + z$	M_0
0	0	1	$x'y'z$	m_1	$x + y + z'$	M_1
0	1	0	$x'yz'$	m_2	$x + y' + z$	M_2
0	1	1	$x'yz$	m_3	$x + y' + z'$	M_3
1	0	0	$xy'z'$	m_4	$x' + y + z$	M_4
1	0	1	$xy'z$	m_5	$x' + y + z'$	M_5
1	1	0	xyz'	m_6	$x' + y' + z$	M_6
1	1	1	xyz	m_7	$x' + y' + z'$	M_7

Bentuk kanonik SOP dapat diubah menjadi bentuk kanonik POS, begitu pula sebaliknya. Konversi antar bentuk kanonik ini dapat memanfaatkan hukum-hukum aljabar Boolean seperti distributif ataupun De Morgan seperti yang telah dijabarkan sebelumnya.

Misalkan f adalah fungsi Boolean dalam bentuk SOP dengan tiga peubah, yaitu:

$$f(x, y, z) = \Sigma(1,4,5,6,7)$$

dengan $\Sigma(1,4,5,6,7)$ berarti $m_1 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7$, dan f' adalah fungsi komplemen dari f ,

$$f(x, y, z) = \Sigma(0,2,3)$$

Kita dapat memperoleh fungsi f dalam bentuk POS dengan menggunakan hukum De Morgan, yaitu:

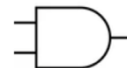
$$\begin{aligned} f(x, y, z) &= (f'(x, y, z))' \\ &= (m_0 + m_2 + m_3)' = m_0' \cdot m_2' \cdot m_3' \\ &= (x'y'z')'(x'yz')'(x'yz)' \\ &= (x + y + z)(x + y' + z)(x + y' + z') \\ &= M_0 M_2 M_3 \\ &\text{atau } \Pi(0,2,3) \end{aligned}$$

sehingga,

$$f(x, y, z) = \Sigma(1,4,5,6,7) = \Pi(0,2,3)$$

D. Rangkaian Logika

Fungsi Boolean dapat direpresentasikan dalam bentuk rangkaian logika. Rangkaian logika terdiri dari masukan, gerbang, serta keluaran. Terdapat tiga gerbang logika dasar, yaitu gerbang AND, gerbang OR, dan gerbang NOT, dimana contoh penggunaannya adalah sebagai berikut.



Gambar 1 Gerbang AND



Gambar 2 Gerbang OR



Gambar 3 Gerbang NOT

Selain ketiga gerbang dasar tersebut, terdapat juga gerbang-gerbang logika turunan, yaitu gerbang NAND, gerbang NOR, gerbang XOR, dan gerbang XNOR dengan bentuk sebagai berikut.



Gambar 4 Gerbang NAND



Gambar 5 Gerbang NOR



Gambar 6 Gerbang XOR



Gambar 7 Gerbang XNOR

yang menspesifikasikan suatu fungsi dapat disajikan dalam dua bentuk berbeda, yaitu penjumlahan dari hasil kali (*sum of product*) dan perkalian dan hasil jumlah (*product of sum*). Contohnya adalah sebagai berikut.

E. Penyerderhanaan Fungsi Boolean

Fungsi Boolean dapat disederhanakan menjadi bentuk fungsi lain yang ekuivalen dengan jumlah literal atau operasi yang lebih sedikit. Fungsi Boolean yang lebih sederhana ini juga akan memiliki rangkaian logika yang lebih sederhana pula. Contohnya, $f(x, y) = x'y + xy' + y'$ dapat disederhanakan menjadi $f(x, y) = x' + y'$.

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menyederhanakan fungsi Boolean antara lain:

1. Menggunakan hukum-hukum aljabar Boolean,
2. Metode Peta Karnaugh, dan
3. Metode Quine-McCluskey.

dimana pada makalah ini, yang dibahas dan yang digunakan adalah metode Peta Karnaugh.

Peta Karnaugh ditemukan oleh Maurice Karnaugh pada tahun 1953. Peta Karnaugh merupakan sebuah diagram atau peta yang dibentuk dari kotak-kotak berbentuk bujursangkar yang bersisian, dimana setiap kotaknya merepresentasikan sebuah *minterm*.

Tabel 2.7 Contoh Penyajian Peta Karnaugh dengan 2 Peubah

$x \backslash y$	0	1
0	$x'y'$	$x'y$
1	xy'	xy

Tabel 2.8 Contoh Penyajian Peta Karnaugh dengan 3 Peubah

$x \backslash yz$	00	01	11	10
0	$x'y'z'$	$x'y'z$	$x'yz$	$x'yz'$
1	$xy'z'$	$xy'z$	xyz	xyz'

Tabel 2.9 Contoh Penyajian Peta Karnaugh dengan 4 Peubah

$wx \backslash yz$	00	01	11	10
00	$w'x'y'z'$	$w'x'y'z$	$w'x'yz$	$w'x'yz'$
01	$w'xy'z'$	$w'xy'z$	$w'xyz$	$w'xyz'$
11	$wxy'z'$	$wxy'z$	$wxyz$	$wxyz'$
10	$wx'y'z'$	$wx'y'z$	$wx'yz$	$wx'yz'$

Setelah membentuk Peta Karnaugh seperti pada contoh, isi nilai fungsi Boolean pada setiap sel berdasarkan kombinasi variable yang sesuai. Gunakan "1" untuk mengisi kotak yang menyatakan *minterm* dan isi sisanya dengan "0". Kemudian, kotak-kotak yang bernilai "1" dan saling bersisian dapat digabungkan apabila posisinya membentuk pasangan dua kotak, empat kotak, delapan kotak, dan seterusnya. Berdasarkan pernyataan tersebut, kita dapat mengetahui bahwa kotak-kotak dapat digabungkan apabila mereka saling bersisian dan membentuk pasangan sebanyak 2^n , dengan batas minimum n sebanyak 1. Berikut adalah contoh penyerdehanaan fungsi

$$f(x, y, z) = x'yz + xy'z' + xyz + xyz'$$

dengan menggunakan Peta Karnaugh.

$x \backslash yz$	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	1	0	1	1

Gambar 8 Hasil Penyerdehanaan Fungsi $f(x, y, z)$

Dengan demikian, fungsi f yang sebelumnya cukup kompleks sekarang menjadi $f(x, y, z) = yz + xz'$ saja.

F. Hazard Analysis and Critical Control Point Ayam

Ayam merupakan suatu bahan pangan yang paling populer dikalangan masyarakat. Ayam seringkali diketahui membawa bakteri berbahaya, seperti *Salmonella* dan *Campylobacter*, yang dapat menyebabkan penyakit bawaan makanan jika tidak dimasak pada suhu yang aman. Oleh sebab itu, kita dapat mengaplikasikan tujuh prinsip HACCP yang telah disebutkan sebelumnya untuk memastikan ayam aman dikonsumsi.

Pada tahap pertama, yaitu analisis bahaya, perlu diketahui apakah terdapat kemungkinan kontaminasi silang ataupun ayam yang tidak matang. Selanjutnya, pada proses identifikasi CCP, perlu dilihat apakah temperature ketika memasak sudah cukup atau belum. Selain itu, perlu dilihat pula apakah ayam ataupun peralatan masak disimpan dengan baik atau tidak. Pada penetapan batas kritis, kita perlu memastikan ayam dimasak hingga suhu dagingnya mencapai minimal 165°F atau 74°C (sekitar 12 menit) serta peralatan masak dipisah untuk bahan makanan matang dan mentah. Selanjutnya, untuk tahapan prosedur pemantauan tindakan korektif, prosedur verifikasi, serta pencatatan dan dokumentasi, kita dapat memastikan ayam termasak dengan baik dengan melakukan pemantauan suhu, peralatan masak, serta kondisi fisik ayam sebelum dimasak.

III. IMPLEMENTASI DAN PERCOBAAN

A. Fungsi Boolean pada HACCP Ayam

Dari penjelasan ketujuh prinsip HACCP pada ayam yang terdapat pada bab sebelumnya, kita dapat mendapatkan beberapa parameter untuk menentukan apakah suatu ayam aman untuk dikonsumsi atau tidak, yaitu:

1. Apakah ayam dimasak hingga mencapai batas suhu yang seharusnya?
2. Apakah penyimpanan ayam dipisah dengan bahan pangan lainnya?
3. Apakah penggunaan alat masak untuk bahan mentah dan matang dicampur?
4. Apakah alat masak yang digunakan telah dicuci sebelumnya?
5. Bagaimana kondisi fisik ayam sebelum dimasak?
 - (i) Warna kebiruan/kehijauan pada ayam menandakan ayam sudah busuk dan tidak aman dikonsumsi
 - (ii) Ayam yang sedikit berbau, namun tidak berlendir masih aman untuk dimasak.
 - (iii) Usia ayam mentah yang tidak disimpan di freezer hanya sampai 2 hari saja, apabila lebih dari itu maka

ayam tidak aman dikonsumsi. Sementara ayam yang disimpan di *freezer* dapat tahan hingga 1 tahun dan masih aman dikonsumsi.

Representasi biner untuk parameter-parameter diatas dapat dituliskan sebagai berikut.

Tabel 3.1 Representasi Biner Parameter HACCP Ayam

<i>a</i>	0 → ayam dimasak hingga suhu daging < 74°C 1 → ayam dimasak hingga suhu daging ≥ 74°C
<i>b</i>	0 → penyimpanan ayam digabung dengan bahan pangan lain 1 → penyimpanan ayam dipisah dengan bahan pangan lain
<i>c</i>	0 → penggunaan alat masak dipisah antar bahan mentah dan matang 1 → penggunaan alat masak digabung antar bahan mentah dan matang
<i>d</i>	0 → alat masak tidak dicuci 1 → alat masak dicuci
<i>e</i>	0 → warna ayam normal (<i>pink</i>) 1 → warna ayam kebiru-hijauan
<i>f</i>	0 → ayam tidak berbau 1 → ayam sedikit berbau
<i>g</i>	0 → ayam tidak berlendir 1 → ayam berlendir
<i>h</i>	0 → ayam tidak disimpan di <i>freezer</i> 1 → ayam disimpan di <i>freezer</i>
<i>i</i>	0 → usia ayam < 2 hari 1 → usia ayam > 2 hari

Beberapa kondisi dimana ayam dianggap aman dikonsumsi adalah:

- $ac'e'f'$: ayam dimasak hingga suhu daging $\geq 74^\circ\text{C}$, warna ayam normal dan tidak berbau, serta penggunaan alat masak dipisah antar bahan mentah dan matang.
- $abc'd'e'f'$: ayam dimasak hingga suhu daging $\geq 74^\circ\text{C}$, penyimpanan ayam dipisah dengan bahan pangan lain, alat masak dipisah antar bahan mentah dan matang serta tidak dicuci lagi, warna ayam normal dan tidak berbau.
- $abcde'f'$: ayam dimasak hingga suhu daging $\geq 74^\circ\text{C}$, penyimpanan ayam dipisah dengan bahan pangan lain, alat masak digabung antar bahan mentah dan matang namun dicuci lagi, warna ayam normal dan tidak berbau.
- $ac'e'g'hi$: ayam dimasak hingga suhu daging $\geq 74^\circ\text{C}$, alat masak dipisah antar bahan mentah dan matang, warna ayam normal, ayam tidak berlendir, ayam disimpan di *freezer* dan usia ayam > 2 hari.
- $adfg'hi$: ayam dimasak hingga suhu daging $\geq 74^\circ\text{C}$, alat masak dicuci, ayam sedikit berbau namun tidak berlendir, ayam disimpan di *freezer* dan usia ayam > 2

hari.

- $ab'de'fg'h'i'$: ayam dimasak hingga suhu daging $\geq 74^\circ\text{C}$, penyimpanan ayam digabung dengan bahan pangan lain, alat masak dicuci, warna ayam normal, ayam sedikit berbau namun tidak berlendir, ayam tidak disimpan di *freezer* namun usianya < 2 hari.
- $ab'c'e'f'h'i'$: ayam dimasak hingga suhu daging $\geq 74^\circ\text{C}$, penyimpanan ayam digabung dengan bahan pangan lain, penggunaan alat masak dipisah antar bahan mentah dan matang, warna ayam normal dan tidak berbau, ayam disimpan di *freezer* dan usia ayam < 2 hari.
- $abc'de'f'g'h'i'$: ayam dimasak hingga suhu daging $\geq 74^\circ\text{C}$, penyimpanan ayam dipisah dengan bahan pangan lain, alat masak dipisah antar bahan mentah dan matang serta dicuci, warna ayam normal dan tidak berbau, ayam tidak berlendir, tidak disimpan di *freezer* namun memiliki usia < 2 hari.
- $abc'de'f'g'h$: ayam dimasak hingga suhu daging $\geq 74^\circ\text{C}$, penyimpanan ayam dipisah dengan bahan pangan lain, alat masak dipisah antar bahan mentah dan matang serta dicuci, warna ayam normal dan tidak berbau, ayam tidak berlendir serta disimpan di *freezer*.

Kondisi-kondisi dimana pengolahan ayam dianggap aman dapat digambarkan sebagai suatu fungsi Boolean sebagai berikut.

$$f(a, b, c, d, e, f, g, h, i) = ac'e'f' + abc'd'e'f' + abcde'f' + ac'e'g'hi + adfg'hi + ab'de'fg'h'i' + ab'c'e'f'h'i' + abc'de'f'g'h'i' + abc'de'f'g'h$$

Fungsi Boolean ini kemudian dapat digambarkan dengan menggunakan Peta Karnaugh yaitu sebagai berikut.

Tabel 3.2 Peta Karnaugh Fungsi HACCP Ayam

<i>efghijabcd</i>	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01	11	11	11	11	11	11	10	10	10	10	10	10	10	10	00	00	00	00
0000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1100	1	1	1	1	1	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	0	0
1101	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1111	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1001	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	1	1	1	1	1	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	0	0

Selanjutnya, dengan memanfaatkan Peta Karnaugh tersebut, kita dapat meminimasi fungsi HACCP Ayam tersebut dengan melihat kotak-kotak bernilai "1" yang saling bersisian, sehingga hasilnya akan menjadi seperti tabel berikut.

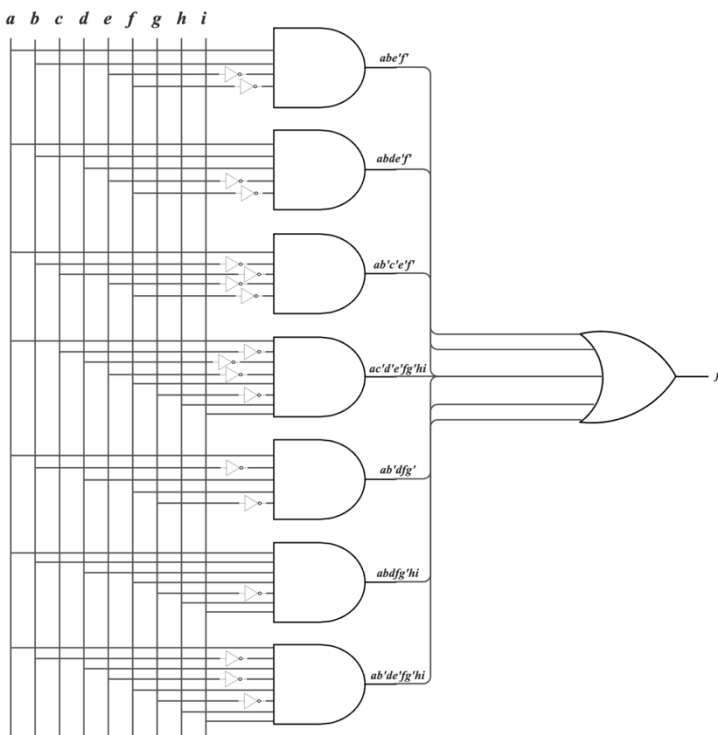
Tabel 3.3 Peta Karnaugh HACCP Ayam (Simplified)

efghi/ abcd	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01	01	11	11	11	11	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
0000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1100	1	1	1	1	1	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
1101	1	1	1	1	1	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
1111	1	1	1	1	1	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
1110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1011	0	0	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
1001	1	1	1	1	1	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
1000	1	1	1	1	1	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

Kotak-kotak yang bernilai “1” dan bersisian pada Peta Karnaugh (Tabel 3.2) dapat dikelompokkan menjadi beberapa kotak dengan ukuran 2x8, 2x2, maupun 2x1 (Tabel 3.3). Dari hasil penggabungan kotak-kotak tersebut, fungsi f dapat disederhanakan menjadi:

$$f(a,b,c,d,e,f,g,h,i) = abe'f' + abde'f' + ab'c'e'f' + ac'd'e'fg'hi + ab'dfg' + abdfg'hi + ab'de'fg'hi$$

Selanjutnya, fungsi f yang telah disederhanakan dapat digambarkan kedalam gerbang logika, dengan gambar sebagai berikut.



Gambar 9 Gerbang Logika Fungsi $f(a,b,c,d,e,f,g,h,i)$

Dengan melihat baik gerbang logika ataupun Peta Karnaugh

fungsi f yang telah disederhanakan, kita dapat mengetahui alternatif tahapan apa saja yang dapat dilakukan untuk memastikan olahan ayam layak untuk dikonsumsi, yaitu saat fungsi f bernilai 1. Sehingga dengan mengikuti langkah-langkah ini, produsen atau penanggung jawab keamanan pangan dapat memastikan bahwa ayam yang diolah memenuhi standar keamanan dan dapat dikonsumsi dengan aman.

B. Command-Line Program Sederhana dengan Bahasa Pemrograman C

Dalam upaya membantu pengguna menentukan apakah tahapan pengolahan ayam yang mereka lakukan sudah benar, dibuatlah sebuah program sederhana dengan bahasa pemrograman C berbasis *Command-Line*. Pada program ini terdapat fungsi “*is_chicken_safe*” yang menerima parameter-parameter fungsi Boolean dan akan mengembalikan “1” apabila ayam aman dikonsumsi dan “0” jika tidak.

Tabel 3.4 Fungsi “*is_chicken_safe*”

```
int is_chicken_safe(int a, int b, int c, int d, int e, int f,
int g, int h, int i) {
    return (a && b && !e && !f) ||
           (a && b && d && !e && !f) ||
           (a && !b && !c && !e && !f) ||
           (a && !c && d && !e && f && !g && h && i) ||
           (a && !b && d && f && !g && h && !i) ||
           (a && !b && !c && !e && !f && !g && h && !i) ||
           (a && !b && !c && !d && e && f && !g && !h && !i);
}
```

Program akan meminta masukan atau *input* dari pengguna mengenai lama waktu memasak ayam atau apakah pengguna mengukur suhu daging ayam, serta menanyakan kondisi fisik ayam serta alat masak yang digunakan pengguna. Berikut adalah fungsi utama dari program. Berdasarkan fakta atau masukan dari pengguna, program kemudian akan mengonversi setiap fakta menjadi nilai 0 atau 1 dan menyimpannya ke dalam sebuah variabel. Nantinya, variabel-variabel tersebut akan dioperasikan dalam fungsi “*is_chicken_safe*” seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.5 Fungsi “*main*”

```
int main() {
    int a, b, c, d, e, f, g, h, i;
    char waktu, input1, input2, input3, input4, input5,
    input6, input7, input8;
    int temp, input9;
    printf("Apakah anda mengukur suhu daging ayam?
    (YA/TIDAK): ");
    scanf("%s", &input1);
    if (strcmp(&input1, "YA") == 0) {
        printf("Berapa suhu daging ayam dalam celcius? ");
        scanf("%d", &temp);
        if (temp >= 74) {
            a = 1;
        } else {
            a = 0;
        }
    }
    else if (strcmp(&input1, "TIDAK") == 0){
        printf("Apakah anda mengukur lama waktu memasak
        daging ayam? (YA/TIDAK): ");
        scanf("%s", &waktu);
        if (strcmp(&waktu, "YA") == 0) {
            printf("Berapa lama waktu memasak daging ayam
            dalam menit? ");
            scanf("%d", &temp);
            if (temp >= 12) {
                a = 1;
            }
        }
    }
}
```

```

    } else {
        a = 0;
    }
} else if (strcmp(&waktu, "TIDAK") == 0){
    a = 0;
} else {
    printf("Input tidak valid.\n");
}
} else {
    printf("Input tidak valid.\n");
}

printf("Apakah penyimpanan ayam digabung dengan bahan
pangan lain? (YA/TIDAK): ");
scanf("%s", &input2);
if (strcmp(&input2, "YA") == 0) {
    b = 0;
} else if (strcmp(&input2, "TIDAK") == 0){
    b = 1;
} else {
    printf("Input tidak valid.\n");
}

printf("Apakah penggunaan alat masak dipisah antar bahan
mentah dan matang? (YA/TIDAK): ");
scanf("%s", &input3);
if (strcmp(&input3, "YA") == 0) {
    c = 0;
} else if (strcmp(&input3, "TIDAK") == 0){
    c = 1;
} else {
    printf("Input tidak valid.\n");
}

printf("Apakah alat masak dicuci sebelum digunakan?
(YA/TIDAK): ");
scanf("%s", &input4);
if (strcmp(&input4, "YA") == 0) {
    d = 1;
} else if (strcmp(&input4, "TIDAK") == 0){
    d = 0;
} else {
    printf("Input tidak valid.\n");
}

printf("Bagaimana warna ayam? \n");
printf("1. Pink-keputihan\n");
printf("2. Biru-kehijauan\n");
printf("3. Lainnya\n");
printf("Masukkan pilihan: ");
scanf("%s", &input5);
if (strcmp(&input5, "1") == 0) {
    e = 0;
} else if (strcmp(&input5, "2") == 0 || strcmp(&input5,
"3") == 0){
    e = 1;
} else {
    printf("Input tidak valid.\n");
}

printf("Apakah ayam berbau? (YA/TIDAK): ");
scanf("%s", &input6);
if (strcmp(&input6, "YA") == 0) {
    f = 1;
} else if (strcmp(&input6, "TIDAK") == 0){
    f = 0;
} else {
    printf("Input tidak valid.\n");
}

printf("Apakah ayam berlendir? (YA/TIDAK): ");
scanf("%s", &input7);
if (strcmp(&input7, "YA") == 0) {
    g = 1;
} else if (strcmp(&input7, "TIDAK") == 0){
    g = 0;
} else {
    printf("Input tidak valid.\n");
}

printf("Apakah ayam disimpan di freezer? (YA/TIDAK): ");
scanf("%s", &input8);
if (strcmp(&input8, "YA") == 0) {
    h = 1;
} else if (strcmp(&input8, "TIDAK") == 0){
    h = 0;
} else {
    printf("Input tidak valid.\n");
}
}

```

```

printf("Berapakah usia ayam dalam hari? ");
scanf("%d", &input9);
if (input9 >= 2) {
    i = 1;
} else {
    i = 0;
}

int result = is_chicken_safe(a, b, c, d, e, f, g, h, i);

if (result) {
    printf("Ayam aman untuk dikonsumsi.\n");
} else {
    printf("Ayam tidak aman untuk dikonsumsi.\n");
}

return 0;
}

```

Berikut adalah contoh implementasi program, baik untuk kondisi dimana ayam aman dikonsumsi dan ketika ayam tidak aman untuk dikonsumsi.

```

Apakah anda mengukur suhu daging ayam? (YA/TIDAK): YA
Berapa suhu daging ayam dalam celcius? 74
Apakah penyimpanan ayam digabung dengan bahan pangan lain? (YA/TIDAK): YA
Apakah penggunaan alat masak dipisah antar bahan mentah dan matang? (YA/TIDAK): YA
Apakah alat masak dicuci sebelum digunakan? (YA/TIDAK): TIDAK
Bagaimana warna ayam?
1. Pink-keputihan
2. Biru-kehijauan
3. Lainnya
Masukkan pilihan: 1
Apakah ayam berbau? (YA/TIDAK): TIDAK
Apakah ayam berlendir? (YA/TIDAK): TIDAK
Apakah ayam disimpan di freezer? (YA/TIDAK): YA
Berapakah usia ayam dalam hari? 1
Ayam aman untuk dikonsumsi.

```

Gambar 10 Kondisi HACCP Ayam Aman

Kondisi pada Gambar 10 dianggap aman, karena walaupun penyimpanan ayam digabung dengan bahan pangan lain, ayam dimasak hingga suhunya $\geq 74^{\circ}\text{C}$, dimana dikutip dari *poison.org*[3], suhu tersebut telah mencukupi untuk membunuh bakteri-bakteri yang mungkin didapat ayam dari campuran dengan bahan pangan lain.

```

Apakah anda mengukur suhu daging ayam? (YA/TIDAK): YA
Berapa suhu daging ayam dalam celcius? 80
Apakah penyimpanan ayam digabung dengan bahan pangan lain? (YA/TIDAK): TIDAK
Apakah penggunaan alat masak dipisah antar bahan mentah dan matang? (YA/TIDAK): YA
Apakah alat masak dicuci sebelum digunakan? (YA/TIDAK): TIDAK
Bagaimana warna ayam?
1. Pink-keputihan
2. Biru-kehijauan
3. Lainnya
Masukkan pilihan: 2
Apakah ayam berbau? (YA/TIDAK): TIDAK
Apakah ayam berlendir? (YA/TIDAK): YA
Apakah ayam disimpan di freezer? (YA/TIDAK): TIDAK
Berapakah usia ayam dalam hari? 1
Ayam tidak aman untuk dikonsumsi.

```

Gambar 11 Kondisi HACCP Ayam Tidak Aman

Kondisi pada Gambar 11 dianggap tidak aman, karena walaupun ayam sudah dimasak hingga suhunya $\geq 74^{\circ}\text{C}$ dan dengan peralatan yang bersih, ayam sudah berlendir dan warnanya sudah tidak semestinya.

V. KESIMPULAN

Hazard Analysis and Critical Control Point atau HACCP merupakan suatu pendekatan sistematis yang digunakan untuk memastikan keamanan pangan dengan mengidentifikasi, menilai, dan mengendalikan bahaya yang dapat timbul selama proses produksi makanan.

Dengan HACCP, ayam sebagai bahan pangan yang populer di semua kalangan dikaji tahap penyajiannya, di mana Aljabar Boolean digunakan untuk merumuskan model matematis yang merepresentasikan hubungan antara faktor-faktor kritis dan kontrol yang diterapkan.

Melalui implementasi HACCP pada produksi ayam, faktor-faktor seperti suhu memasak, penyimpanan, penggunaan alat masak, ataupun kondisi fisik ayam dapat dipahami dan dikontrol. Dengan menyajikan fungsi Boolean yang dihasilkan dari parameter-parameter kritis HACCP tersebut, kita dapat mengetahui apakah suatu ayam aman dikonsumsi atau tidak. Apabila fungsi Boolean mengembalikan "1", maka ayam aman untuk dikonsumsi, begitupula sebaliknya. Jika fungsi Boolean mengembalikan "0", maka ayam tidak aman dikonsumsi. Dengan demikian, makalah ini diharapkan dapat memberikan panduan praktis untuk memastikan keamanan ayam dalam kehidupan sehari-hari.

VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh rasa syukur, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan izin-Nya, yang telah memungkinkan penulisan makalah berjudul "*Hazard Analysis dan Critical Control Point Ayam dengan Aljabar Boolean*" dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada para dosen pengampu Mata Kuliah Matematika Diskrit IF2120, yaitu Ibu Dr. Nur Ulfa Maulidevi, Bapak Dr. Rinaldi Munir, dan Ibu Dr. Fariska Zakhralativa Ruskanda.

Tak lupa, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada asisten mata kuliah, teman-teman, serta keluarga yang telah memberikan dukungan luar biasa selama proses penulisan makalah ini. Semua bantuan dan motivasi yang diberikan sangat berarti bagi penulis. Penulis juga ingin menyampaikan terima kasih kepada semua sumber referensi yang telah menjadi landasan utama dalam penulisan makalah ini.

REFERENCES

- [1] R. Munir, "Aljabar Boolean (Bag.1)," [https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/12-Aljabar-Boolean-\(2023\)-bagian1.pdf](https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/12-Aljabar-Boolean-(2023)-bagian1.pdf), diakses pada 7 Desember 2023.
- [2] R. Munir, "Aljabar Boolean (Bag.2)," [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), diakses pada 7 Desember 2023.
- [3] Poison Control. (n.d.). "*What's the safest way to cook chicken?*" Poison Control, <https://www.poison.org/articles/whats-the-safest-way-to-cook-chicken#:~:text=Raw%20chicken%2C%20including%20frozen%20uncooked,cooking%20poultry%20and%20meat%20products>, diakses pada 6 Desember 2023.
- [4] FDA. (n.d.). Pedoman untuk Penerapan Prinsip-prinsip HACCP. Food and Drug Administration. <https://www.fda.gov/food/hazard-analysis-critical-control-point-haccp/haccp-principles-application-guidelines#:~:text=HACCP%20is%20a%20management%20system,consumption%20of%20the%20finished%20product>, diakses pada 1 Desember 2023.
- [5] Create Kids Club. (n.d.). "*How to boil chicken breasts?*" Create Kids Club. <https://www.createkidsclub.com/how-to-boil-chicken-breasts/>, diakses pada 8 Desember 2023.
- [6] Easy Chicken Recipes. (n.d.). "*How long does chicken last in the fridge or freezer?*" Easy Chicken Recipes. <https://easychickenrecipes.com/how-long-does-chicken-last-in-the-fridge-or-freezer/>, diakses pada 8 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, 9 Desember 2023



Denise Felicia Tiowanni
13522013