

Diagnosa Buta Warna Merah-Hijau Deuteranomialia Menggunakan Algoritma Pencocokan String

Nadija Herdwina Putri Soerojo / 13516130

Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Bandung, Indonesia
nadija@soerojo.com

Abstract—Asam Deoksiribonukleat (DNA) adalah substansi penting yang menyimpan segala informasi biologis dari makhluk hidup, termasuk manusia. Perubahan kecil pada struktur DNA dapat memberikan dampak besar bagi fisiologi manusia. Perubahan yang terjadi pada DNA dapat menyebabkan mutasi gen. Mutasi gen dapat dideteksi melalui susunan nukleotida yang merupakan penyusun DNA. Mutasi ini dapat menimbulkan beberapa kelainan, salah satunya buta warna. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi buta warna adalah dengan pencocokan urutan nukleotida pada kromosom X yang dimiliki dengan yang seharusnya. Pencocokan ini dapat dilakukan menggunakan algoritma pencocokan string.

Kata kunci—mutasi; DNA; gen; teks; pola; string

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini, sering bermunculan foto yang viral di sosial media mengenai suatu barang, baik itu baju ataupun benda lainnya, yang menimbulkan perdebatan akan warna yang dimiliki oleh benda tersebut. Hal ini telah dijelaskan oleh para peneliti bahwa tiap orang memiliki perspektif warna yang berbeda, maka pendapat yang berbeda terhadap warna yang sama adalah hal yang wajar. Namun, terdapat kemungkinan bahwa memang seseorang tidak dapat melihat beberapa warna. Kondisi itu biasa disebut dengan buta warna. Orang yang buta warna bukan berarti tidak dapat melihat warna sama sekali (hanya dapat melihat warna hitam dan putih saja), tetapi memungkinkan dapat melihat beberapa warna saja, yang disebut dengan buta warna parsial. Salah satu dari beberapa jenis buta warna parsial adalah buta warna terhadap warna hijau dan merah, yaitu deuteranomialia. Buta warna jenis ini adalah buta warna yang paling sering terjadi daripada jenis lainnya. Diantara populasi keturunan Eropa Utara, kasus ini terjadi kepada 1 dari 12 pria dan 1 dari 200 wanita.

Buta warna disebabkan oleh faktor genetik. Orang yang memiliki buta warna biasanya mendapatkan kelainan ini diturunkan dari orang tuanya, yaitu ibunya, yang tidak mengalami kelainan buta warna namun merupakan pembawa sifat buta warna, atau *carrier*. Karena hal ini disebabkan oleh faktor genetik, maka orang yang mengidap kelainan buta warna akan memiliki suatu perbedaan di kromosomnya. Kromosom terdiri dari DNA, dimana tiap DNA disusun oleh basa nitrogen. Susunan basa nitrogen inilah yang akan mengalami perubahan apabila orang tersebut mengalami buta warna. Untuk melakukan

pendeteksian terhadap urutan basa nitrogen tersebut, basa nitrogen itu dapat diubah menjadi sebuah string. Nantinya, string ini dapat dibandingkan dengan string yang merupakan basa nitrogen dari DNA normal sehingga dapat diketahui diagnosanya. Perbandingan tersebut dapat dilakukan menggunakan algoritma pencocokan string, yaitu algoritma Boyer Moore.

II. LANDASAN TEORI

A. Pencocokan String

Pencocokan *string* adalah metode yang digunakan untuk pencarian sebuah *string* di dalam *string* lainnya. *String* yang dicari disebut dengan istilah pola, sedangkan *string* yang menjadi sumber disebut dengan istilah teks. Teks adalah *string* panjang yang memiliki n karakter, sedangkan pola adalah sebuah *string* dengan panjang m karakter, dimana $n < m$, yang akan dicari di dalam teks. Untuk pembahasan selanjutnya, penggunaan istilah teks akan disimbolkan dengan huruf 'T' dan untuk penggunaan istilah pola akan disimbolkan dengan huruf 'P'. Contoh pencarian *string* adalah sebagai berikut.

Pola: "makalah"

Teks: "Pembuatan **makalah** strategi algoritma"

Pada konsep *string*, terdapat istilah prefiks dan sufiks. Apabila terdapat sebuah *string* S dengan panjang m ,

$$S = X_1 X_2 \dots X_{m-1}$$

maka prefiks adalah *substring* $S[0..k]$ dan sufiks adalah *substring* $S[k..m-1]$ dimana k adalah nilai berapapun diantara 0 dan $m-1$. Contoh untuk prefiks dan sufiks adalah sebagai berikut. Misalkan terdapat sebuah *string* S yang berisi kata "angka", maka kemungkinan prefiks untuk S adalah "a", "an", "ang", "angk", dan "angka". Untuk sufiks, kemungkinan sufiks dari *string* S adalah "a", "ka", "gka", "ngka", dan "angka".

B. Algoritma Brute Force pada Pencocokan String

Algoritma Brute Force pada pencocokan *string* dilakukan dengan memeriksa tiap posisi pada teks apakah pola dimulai pada posisi tersebut. Pada tiap pengecekan, pola hanya berpindah sebanyak 1 karakter saja pada teks. Hal ini menyebabkan algoritma Brute Force pada pencocokan *string*

adalah algoritma yang paling tidak efisien. Contoh pencocokan pola “NOT” pada teks “NOBODY NOTICED HIM” menggunakan algoritma Brute Force adalah sebagai berikut.

NOBODY NOTICED HIM	
1	NOT
2	NOT
3	NOT
4	NOT
5	NOT
6	NOT
7	NOT
8	NOT

Pseudocode pencocokan *string* menggunakan algoritma Brute Force adalah sebagai berikut.

```

m = panjang teks
n = panjang pola
for i=0 to (n-m) do
    j=0;
    while ((j<m) and (pattern[j] == text[j+i])) do
        j++;
    endwhile
    if (j==m) then
        return i; //pola ditemukan pada teks[i]
    endifor
return -1; //tidak ada pola pada teks

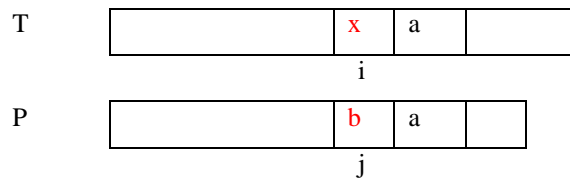
```

Output dari algoritma tersebut adalah indeks pada teks yang memuat huruf pertama pola saat kata sudah ditemukan. Kompleksitas dari algoritma pencocokan *string* menggunakan Brute Force adalah $O(mn)$ dimana m adalah panjang teks dan n adalah panjang pola.

C. Algoritma Boyer Moore

Algoritma Boyer Moore adalah algoritma yang lebih efisien daripada algoritma Brute Force dalam pencocokan *string*. Hal ini dikarenakan pergeseran karakter tidak terbatas pada satu karakter saja, namun bisa lebih sesuai dengan kondisi yang ada. Algoritma Boyer Moore didasarkan pada dua teknik, yakni teknik *looking-glass* dan teknik *character-jump*.

Teknik *looking-glass* menjelaskan bahwa pencarian pola pada teks dengan algoritma Boyer Moore dilakukan secara *backwards*, yaitu pengecekan dimulai dari karakter terakhir pola. Teknik *character-jump* menjelaskan perpindahan yang harus dilakukan apabila terjadi *mismatch*, yaitu ketidaksesuaian karakter pada $P[j]$ dengan $T[i]$, saat pengecekan.



Kondisi yang mungkin terjadi setelah terjadi *mismatch* terbagi menjadi tiga kondisi, yaitu:

Kondisi 1

Kondisi pertama, jika pada pola terdapat x di sebelah kiri $P[j]$ (bukan di j karena j sudah diketahui mengalami *mismatch* dengan x), maka geser pola ke kanan sehingga kemunculan terakhir x pada pola berada sejajar dengan posisi x pada $T[i]$.

Kondisi 2

Kondisi kedua, jika pada pola terdapat x di sebelah kanan $P[j]$, maka geser pola sebanyak 1 karakter ke $T[i+1]$.

Kondisi 3

Kondisi ketiga terjadi ketika kondisi 1 dan 2 tidak terjadi. Hal yang harus dilakukan adalah menggeser pola $P[0]$ ke teks $T[i+1]$.

Pada Boyer Moore terdapat fungsi yang menentukan posisi terakhir kemunculan tiap karakter teks pada pola, yaitu fungsi $L()$. Dalam kata lain, $L()$ memetakan karakter pada pola ke integer yang menyatakan indeks kemunculan terakhir. Apabila tidak pada pola tidak terdapat karakter tersebut, maka nilai kemunculan terakhir karakter tersebut adalah -1. Contohnya adalah sebagai berikut.

Teks = “abcabcdabacab”

Pola = “abacab”

x	a	b	c	d
$L(x)$	4	5	3	-1

Perhatikan bahwa perhitungan indeks dimulai dari 0, dan untuk karakter d terdapat pada teks namun tidak terdapat pada pola sehingga nilai $L(d)$ adalah -1. *Pseudocode* untuk algoritma Boyer Moore adalah sebagai berikut.

```

n = panjang teks
m = panjang pola
i = m - 1

if (m>n)
    return -1; //pola tidak ditemukan
else
    j = m - 2
    while (i <= n - 1) do
        if (pola[j] == teks[i])
            if (j == 0)

```

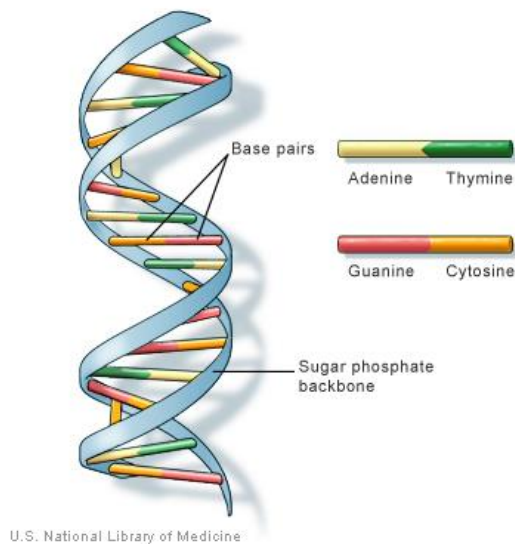
```

        return true; //Pattern ditemukan
    else
        //Bandingi karakter - karakter
        sebelumnya
    else
        //Cari kemunculan terakhir karakter ke
        j pada pattern
        lastOcc = last[teks[i]]
        i = i + m - min(j, 1 + lastOcc)
        j = m - 1
    endif
endwhile
return -1; //pola tidak ditemukan
endif

```

D. Asam Deoksiribonukleat (DNA)

Asam Deoksiribonukleat atau biasa disebut dengan DNA adalah biomolekul yang menyimpan seluruh informasi biologis dari makhluk hidup. Informasi biologis yang disimpan berupa sandi instruksi genetika. DNA merupakan asam nukleat, yaitu makromolekul biokimia yang tersusun dari rantai nukleotida. Kumpulan nukleotida yang membentuk rantai disebut dengan polinukleotida. DNA memiliki dua rantai nukleotida yang bersatu membentuk helix ganda. Bentuk DNA helix ganda adalah sebagai berikut.



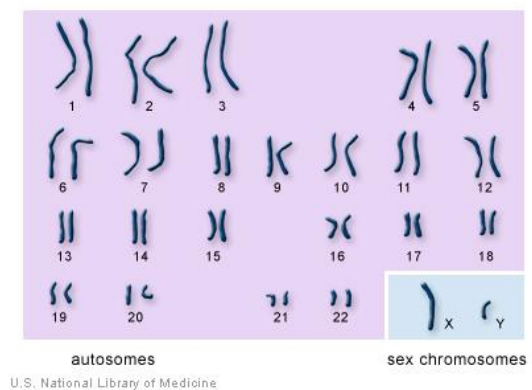
Gambar 1: DNA Helix Ganda

(Sumber: U.S. National Library of Medicine)

Tiap nukleotida penyusun DNA dibentuk oleh gugus fosfat, gula deoksiribosa, dan salah satu dari empat jenis basa nitrogen, yaitu Guanin (G), Adenin (A), Timin (T), atau Sitosin (C). Nukleotida ini kemudian tersambung satu sama lain dalam satu rantai ikatan kovalen, yaitu gula nukleotida dengan fosfat

nukleotida lainnya. Basa nitrogen terbagi menjadi dua kelompok, yaitu pirimidin dan purin. Basa nitrogen terbagi menjadi dua kelompok, yaitu pirimidin dan purin. Timin dan Sitosin masuk ke dalam kelompok pirimidin, sedangkan Adenin dan Guanin masuk ke dalam kelompok purin. Seperti gambar diatas, tiap basa nitrogen memiliki pasangan komplemennya. Komplemen dari Adenin adalah Timin dan berlaku juga sebaliknya, lalu komplemen dari Guanin adalah Sitosin dan berlaku juga sebaliknya.

Dalam sel, DNA tersusun di dalam kromosom. Kromosom adalah unit genetik yang terdapat dalam setiap inti sel pada semua makhluk hidup. Di dalam kromosom juga terdapat gen, yaitu sepenggal DNA yang diseliputi oleh protein yang menentukan sifat organisme. Kromosom memiliki dua lengan, yaitu lengan p yang merupakan lengan pendek dan lengan q yang merupakan lengan yang lebih panjang. Jumlah dan bentuk kromosom yang terdapat dalam sel setiap organisme berbeda-beda. Tetapi, tiap organisme memiliki dua jenis kromosom, yaitu kromosom gonosom, penentu jenis kelamin, dan kromosom autosom. Bentuk kromosom adalah sebagai berikut.



Gambar 2: Kromosom Gonosom dan Autosom

(Sumber: U. S. National Library of Medicine)

E. Mutasi Gen

Mutasi adalah perubahan yang terjadi pada sekuens DNA. Berdasarkan bagian yang bermutasi, mutasi dapat dibedakan menjadi mutasi gen dan mutasi kromosom. Mutasi gen disebabkan oleh adanya perubahan dalam urutan nukleotida. Bahan penyebab terjadinya mutasi disebut dengan mutagen. Mutasi gen pada dasarnya adalah mutasi titik, yaitu perubahan kimiawi pada satu atau beberapa pasangan basa dalam satu gen tunggal. Jenis – jenis mutasi gen adalah sebagai berikut.

1. Mutasi salah arti (*missense mutation*)

Mutasi salah arti adalah perubahan sebuah kodon yang mengubahnya menjadi asam amino yang berbeda sehingga mengubah sekuens primer rantai polipeptida dan mengubah fungsi protein.

2. Mutasi tanpa arti (*nonsense mutation*)

Mutasi tanpa arti adalah perubahan kodon asam amino tertentu menjadi kodon stop sehingga

mengakibatkan berakhirnya pembentukan protein sebelum waktunya. Mutasi ini dapat terjadi baik oleh tranversi, transisi, delesi, maupun insersi.

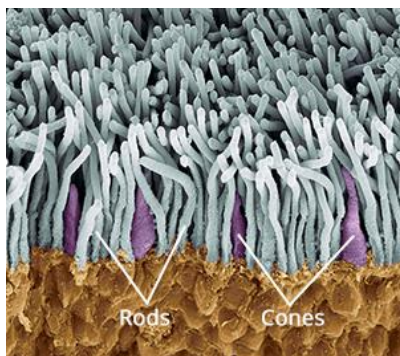
3. Mutasi pergeseran kerangka (*frameshift mutation*)

Mutasi gen pergeseran rangka atau perubahan rangka baca adalah pergeseran bingkai pembacaan yang disebabkan oleh delesi atau insersi dari satu atau beberapa nukleotida; yang dapat menghasilkan banyak kodon *missense* atau *nonsense*. Jumlah penambahan maupun pengurangan ini adalah berjumlah bukan kelipatan dari tiga nukleotida.

4. Mutasi bisu (*silent mutation*)

Mutasi bisu adalah perubahan pada sebuah kodon (biasanya pada posisi ketiga) yang tidak mempengaruhi asam amino yang dikodekan.

F. Sel Batang dan Kerucut pada Mata



Gambar 3: Sel batang dan sel kerucut

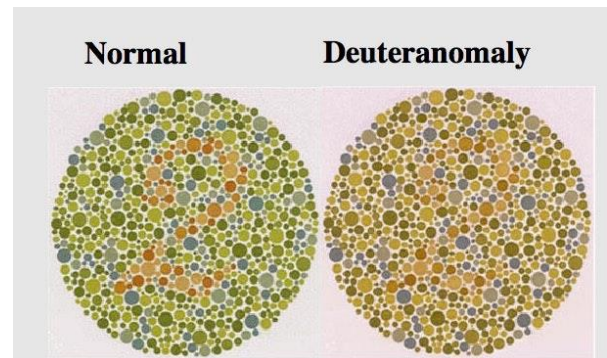
(Sumber: <https://orangesdms.wikispaces.com/Rod+Cells+-+EW>)

Salah satu bagian dari mata yang penting adalah retina, yaitu tempat jatuhnya cahaya yang masuk ke mata. Retina memiliki dua jenis sel reseptor cahaya yang mentransmisikan sinyal visual dari mata ke otak, yaitu sel batang dan sel kerucut. Sel batang membantu penglihatan di kondisi cahaya rendah, sedangkan sel kerucut membantu penglihatan di kondisi cahaya terang, termasuk penglihatan warna. Sel kerucut terbagi menjadi tiga jenis, dimana tiap jenisnya memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap panjang gelombang cahaya. Salah satu jenis sel kerucut terhadap biru, lalu jenis lainnya terhadap merah, dan yang terakhir terhadap hijau. Ketika kita melihat, cahaya masuk ke mata dan menstimulasi sel-sel kerucut tersebut. Setelah itu, otak menafsirkan sinyal dari sel-sel kerucut sehingga kita dapat melihat warna. Ketiga sel kerucut tersebut memungkinkan kita untuk melihat seluruh warna. Misalnya, sel kerucut merah dan biru distimulasikan dengan cara tertentu sehingga kita dapat melihat warna ungu.

G. Color Vision Deficiency

Color Vision Deficiency atau biasa disebut dengan buta warna adalah suatu kelainan yang disebabkan ketidakmampuan sel-sel kerucut mata untuk menangkap suatu spektrum warna

tertentu. Hal ini disebabkan oleh faktor genetik. *Red-green color vision defects*, atau buta warna merah hijau, adalah bentuk defisiensi penglihatan warna yang paling umum. Orang yang terkena kelainan ini mengalami kesulitan untuk membedakan warna bernuansa merah, kuning, dan hijau. Kelainan lainnya adalah kelainan tritan, yaitu *blue-yellow color vision defects*, atau buta warna biru kuning, merupakan kelainan yang lebih jarang terjadi. Kelainan ini menyebabkan mata sulit untuk membedakan warna bernuansa biru dan hijau, serta menyebabkan kesulitan untuk membedakan biru gelap dengan hitam. Kedua kelainan ini mengganggu persepsi warna, tetapi tidak mempengaruhi ketajaman penglihatan.



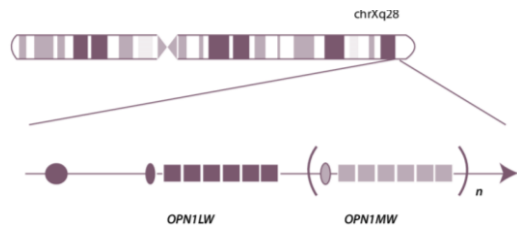
Gambar 4: Perbedaan Penglihatan normal dan Deuteranomia

(Sumber:

https://www.reddit.com/r/ColorBlind/comments/5dsigy/i_have_deuteranomaly_and_cant_see_any_of_these)

Buta warna merah hijau disebut juga dengan nama buta warna Deuteranomia. Deuteranomia diwariskan dalam pola X-linked resesif. Pola ini adalah pola penurunan yang ditentukan oleh gen pada kromosom X. Karakteristik dari pola ini adalah sang ayah tidak dapat menurunkan kelainan ini kepada anaknya. Pada kromosom X, terdapat dua gen yang berpengaruh pada kelainan ini, yaitu gen OPN1LW dan gen OPN1MW. Pada laki-laki, satu perubahan pada genetic setiap sel sudah dapat mendapatkan kelainan ini. Hal ini dikarenakan laki-laki hanya memiliki satu kromosom X. Berbeda dengan wanita yang memiliki dua kromosom X, perubahan genetic harus terjadi pada kedua kromosom X untuk dapat menyebabkan kelainan ini.

Gen OPN1LW dan gen OPN1MW berfungsi untuk memberikan instruksi pembuatan protein untuk penglihatan warna normal. Protein ini berada di retina. Seperti yang sudah dijelaskan, retina memiliki dua jenis sel reseptor cahaya yang mentransmisikan sinyal visual dari mata ke otak, yaitu sel batang dan sel kerucut. Gen OPN1LW memberikan instruksi untuk membuat pigmen opsin yang lebih sensitif terhadap cahaya di bagian kuning atau oranye dari spektrum yang terlihat, sedangkan gen OPN1MW memberikan instruksi untuk membuat fotopigmen yang lebih sensitif terhadap cahaya pada panjang gelombang menengah, yaitu kuning atau hijau. Wilayah DNA terdekat, yang dikenal sebagai wilayah kontrol lokus (LCR), berfungsi untuk mengatur kedua gen ini.



Gambar 5: Gen OPN1LW dan OPN1MW pada Kromosom X

(Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-the-wild-type-L-OPN1LW-and-M-OPN1MW-opsin-gene-array-on-chromosome-Xq28_fig1_303713826)

Kebanyakan kelainan penglihatan warna merah-hijau dihasilkan dari penyusunan ulang struktural yang melibatkan kedua gen diatas. Karena gen ini sangat mirip, mereka terkadang menukar materi genetik ketika gen diturunkan dari orang tua ke anak. Pertukaran yang disebut rekombinasi ini pada akhirnya dapat menghapus materi genetik dari satu atau kedua gen, atau bahkan mengarah pada pembentukan gen pigmen hibrida yang mengandung bagian dari gen OPN1LW dan bagian dari gen OPN1MW. Variasi umum pada gen OPN1LW menyebabkan perbedaan halus dalam penglihatan warna normal. Perubahan ini mengubah blok asam amino dalam fotopigmen yang dihasilkan, yaitu menggantikan asam amino Serin dengan asam amino Alanin pada posisi 180 (ditulis sebagai Ser180Ala). Peneliti berpendapat bahwa pergantian tersebut menentukan tingkat keparahan kehilangan penglihatan warna pada orang dengan buta warna warna merah-hijau. Kondisi lain yang jarang terjadi adalah kelainan ini dihasilkan leh mutasi gen OPN1MW. Mutasi ini mengubah blok asam amino di fotopigmen *middle-wave-sensitive*, yaitu mengubah asam amino Sistein dengan asam amino Arginin pada posisi 203 (ditulis sebagai Cys203Arg atau C203R).

III. DETEKSI DEUTERANOMALIA MELALUI PENCOCOKAN STRING

Pendeteksian yang akan dilakukan dibagi menjadi dua jenis, yaitu pendeteksian melalui gen OPN1MW dan pendeteksian melalui gen OPN1LW. Apabila kedua gen mengalami mutasi, maka orang tersebut positif memiliki buta warna Deuteranomalial.

A. Pendeteksian Melalui Gen OPN1LW

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, mutasi pada gen OPN1LW terjadi dengan adanya perubahan asam amino Serin menjadi asam amino Alanin pada posisi 180 (Ser180Ala). Diketahui bahwa gen OPN1LW terletak di lengan pendek (q) kromosom X pada posisi 28. Pada lengan tersebut, diketahui bahwa basa nitrogen dimulai dari basa nitrogen ke-154.144.244 sampai ke-154.159.932. Dalam kata lain, gen OPN1LW memiliki 15.688 basa nitrogen. Untuk mempermudah pemeriksaan, akan diambil 210 basa nitrogen pertama, karena perubahan terjadi pada posisi 180. Berdasarkan tabel kodon, diketahui bahwa asam amino Serin dapat dibentuk dari basa nitrogen AGU atau AGC. Maka, dalam kondisi normal, rantai sekuens DNA ke 180 pada selang basa nitrogen tersebut haruslah bernilai AGU atau AGC. Apabila terjadi perubahan menjadi Alanin, yaitu dibentuk dari basa nitrogen GCU, GCC, GCA, ataupun GCG, maka mutasi terjadi pada gen OPN1LW.

B. Pendeteksian Melalui Gen OPN1MW

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, mutasi pada gen OPN1LW terjadi dengan adanya perubahan asam amino Sistein dengan asam amino Arginin pada posisi 203 (ditulis sebagai Cys203Arg atau C203R). Diketahui bahwa gen OPN1MW terletak di posisi kromosom yang sama dengan gen OPN1LW, namun gen OPN1MW dimulai dari basa nitrogen ke-154.182.596 sampai ke-154.196.861. Gen OPN1MW ini memiliki 14.265 basa nitrogen. Untuk mempermudah pendeteksian, akan diambil 220 basa nitrogen pertama, karena perubahan terjadi pada posisi 203. Berdasarkan table kodon, diketahui bahwa asam amino Sistein dapat dibentuk dari basa nitrogen UGU dan UGC. Oleh karena itu, pada kondisi normal, rantai sekuens DNA ke 203 pada selang basa nitrogen tersebut harus bernilai TGT dan TGC. Apabila terjadi perubahan menjadi arginin, yaitu dibentuk dari basa nitrogen AGA atau ARG, berarti terdapat mutasi gen OPN1MW yang menyebabkan terjadinya buta warna merah-hijau.

IV. HASIL EKSPERIMEN

Dalam melakukan percobaan, saya menggunakan algoritma Boyer Moore. String yang dijadikan teks adalah sekuens basa nitrogen yang akan di cek. Sekuens basa nitrogen tersebut saya simpan di file eksternal. Misal, file eksternal bernama normalOPN1MW.txt menyimpan sekuens basa nitrogen dalam kondisi normal, sedangkan file eksternal bernama mutationOPN1MW.txt menyimpan sekuens basa nitrogen dalam kondisi termutasi. Hal tersebut juga berlaku untuk file normalOPN1LW.txt dan file mutationOPN1LW.txt. String yang dijadikan pola adalah sekuens basa nitrogen pada urutan ke-180 sampai akhir untuk gen OPN1LW dan sekuens basa nitrogen pada urutan ke-203 sampai akhir untuk gen OPN1MW. Penerapan Boyer Moore dalam melakukan pendeteksian dilakukan dua kali, yaitu kepada gen OPN1MW dan kepada gen OPN1LW. Berikut adalah hasil percobaan diagnose Deuteranomalial dari dua sekuens DNA yang berbeda.

		1st base					
		U	C	A	G		
2nd base	U	UUU Phenylalanine UUC Phenylalanine UUA Leucine UUG Leucine	UCU Serine UCC Serine UCA Serine UCG Serine	UAU Tyrosine UAC Tyrosine UAA Stop UAG Stop	UGU Cysteine UGC Cysteine UGA Stop UGG Tryptophan	U C A G	3rd base
	C	CUU Leucine CUC Leucine CUA Leucine CUG Leucine	CCU Proline CCC Proline CCA Proline CCG Proline	CAU Histidine CAC Histidine CAA Glutamine CAG Glutamine	CGU Arginine CGC Arginine CGA Arginine CGG Arginine	U C A G	
	A	AUU Isoleucine AUC Isoleucine AUA Isoleucine AUG Methionine (Start)	ACU Threonine ACC Threonine ACA Threonine ACG Threonine	AAU Asparagine AAC Asparagine AAA Lysine AAG Lysine	AGU Serine AGC Serine AGA Arginine AGG Arginine	U C A G	
	G	GUU Valine GUC Valine GUA Valine GUG Valine	GCU Alanine GCC Alanine GCA Alanine GCG Alanine	GAU Aspartic Acid GAC Aspartic Acid GAA Glutamic Acid GAG Glutamic Acid	GGU Glycine GGC Glycine GGA Glycine GGG Glycine	U C A G	
		Nonpolar, aliphatic	Polar, uncharged	Aromatic	Positively charged	Negatively charged	

Gambar 6: Tabel Kodon

(Sumber: Wikipedia)

```

D:\Documents\IF\Stima\Makalah>python bm.py
loading text from normalOPN1MW.txt ...
text loaded.

loading pattern from patternOPN1MW.txt ...
pattern loaded.

CCCACTGGCCGATATAA
GCACCGTGACCCCTCAGT
GACGACCAAGGCGCGCT
GCCGTGCGGGACAGGCT
TTCCATAGCCATGCGCA
GCACTGGAGCCTCCAAAG
GCTCGAGGCGCCATCC
GACGACAGCTATGAGGA
CAGACCCAGTCCAGCAT
CTTACCTACCAACAG
CAACTCCACAGAGGTGA
GCCATGCGGCGGTGGAG

loading text from normalOPN1LW.txt ...
text loaded.

loading pattern from patternOPN1LW.txt ...
pattern loaded.

CGTGACCCCTCAGTG
ATGCGCCAGGCGCG
CTGCGCGGGGACA
GGGCTTTCCATAGCC
ATGGCCAGCAGTGG
AGCCTCCAAAGGCTC
GCAGGCGCCATCCG
CAGGACAGCTATGAG
GACGACCAAGGCGCT
AGCATCTTACCTAC
ACCAACAGCAACTCC
ACCAAGAGGTGAGGCA
GCAGGCGGTGGAGG

-----R E S U L T-----

Arginine in position 203 OPN1MW gene : NOT FOUND
Alanine in position 180 OPN1LW gene : NOT FOUND
Deuteranomaly : NEGATIVE

Congratulations, You're not diagnosed with Deuteranomaly.

```

Gambar 4: Hasil Eksperimen Diagnosa Negatif Deuteranomialia

```

D:\Documents\IF\Stima\Makalah>python bm.py
loading text from mutationOPN1MW.txt ...
text loaded.

loading pattern from patternOPN1MW.txt ...
pattern loaded.

CCCACTGGCCGATATAA
GCACCGTGACCCCTCAGT
GACGACCAAGGCGCGCT
GCCGTGCGGGACAGGCT
TTCCATAGCCATGCGCA
GCACTGGAGCCTCCAAAG
GCTCGAGGCGCCATCC
GACGACAGCTATGAGGA
CAGACCCAGTCCAGCAT
CTTACCTACCAACAG
CAACTCCACAGAGGTGA
GCCAAGAGGCGGTGGAG

loading text from mutationOPN1LW.txt ...
text loaded.

loading pattern from patternOPN1LW.txt ...
pattern loaded.

CGTGACCCCTCAGTG
ATGCGCCAGGCGCG
CTGCGCGGGGACA
GGGCTTTCCATAGCC
ATGGCCAGCAGTGG
AGCCTCCAAAGGCTC
GCAGGCGCCATCCG
CAGGACAGCTATGAG
GACGACCAAGGCGCT
AGCATCTTACCTAC
ACCAACAGCAACTCC
ACCAAGAGGTGAGCG
CTAGGCGGTGGAGG

-----R E S U L T-----

Arginine in position 203 OPN1MW gene : FOUND
Alanine in position 180 OPN1LW gene : FOUND
Deuteranomaly : POSITIVE

Sorry, You're diagnosed with Deuteranomaly.

```

Gambar 5: Hasil Eksperimen Diagnosa Positif Deuteranomialia

V. KESIMPULAN

Algoritma pencocokan *string* dapat menyelesaikan bermacam permasalahan, baik di bidang informatika itu sendiri maupun berkolaborasi dengan bidang lain. Salah satu penerapan dari algoritma pencocokan string adalah pada bidang *bioinformatics*, yaitu pemeriksaan sekuens DNA. Pemeriksaan sekuens DNA dapat dilakukan untuk pendeteksian buta warna melalui urutan basa nitrogen pada kromosomnya yang diakibatkan oleh faktor genetik. Dengan menggunakan algoritma Boyer Moore, pencarian akan lebih cepat dilakukan karena algoritma ini mengoptimalkan jarak perpindahan karakter.

REFERENCES

- [1] Causes of Color Blindness. <http://www.colourblindawareness.org/colour-blindness/causes-of-colour-blindness/>, diakses tanggal 13 Mei 2018
- [2] Color Vision Deficiency. <https://ghr.nlm.nih.gov/condition/color-vision-deficiency#inheritance>, diakses tanggal 12 Mei 2018
- [3] Elrod, Susan dan William Stansfield. 2002. *Schaum's Outlines Teori dan Soal-soal Genetika*. Jakarta: Erlangga.
- [4] Munir, Rinaldi. 2015. Slide Kuliah IF2211 Strategi Algoritma: Pencocokan String (2015). Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- [5] OPN1LW Gene. <https://ghr.nlm.nih.gov/gene/OPN1LW#conditions>, diakses tanggal 12 Mei 2018
- [6] OPN1MW Gene. <https://ghr.nlm.nih.gov/gene/OPN1MW#conditions>, diakses tanggal 12 Mei 2018
- [7] OPN1LW Gene Transcript. http://asia.ensembl.org/Homo_sapiens/Gene/Summary?db=core;g=ENS0000010207;r=X:154144224-154159032;t=ENST00000369951, diakses tanggal 12 Mei 2018
- [8] OPN1MW Gene Transcript. http://asia.ensembl.org/Homo_sapiens/Gene/Summary?db=core;g=ENS0000026822;r=X:154182596-154196135;t=ENST00000595290, diakses tanggal 12 Mei 2018

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, 12 Mei 2018



Nadija Herdwina Putri Soerojo
13516130