REPRESENTASI GEOMETRI DARI HIMPUNAN KODON

Isah Aisah[1], Riyan Adriyansyah[2]

[1]*Prodi Matematika FMIPA UNPAD*
E-mail : isah.aisah@unpad.ac.id
[2]*Prodi Matematika FMIPA UNPAD*
E-mail : riyan.adriyansyah34@gmail.com

ABSTRAK

DNA (Deoxyribonucleic Acid), terdapat di dalam sebuah inti sel dalam makhluk hidup yang berperan dalam membentuk *RNA* (Ribonuclueic Acid). *RNA* ini bertugas untuk membentuk protein. Proses ini dinamakan sintesis protein. Molekul pembentuk *DNA* adalah gula pentosa , fosfat, basa nitrogen yang terdiri dari purin (guanin (*G*) dan adenine (*A*)) serta pirimidin (timin *(T*) dan sitosin (*C*)). Karena DNA membentuk RNA maka molekul pembentuk RNA sama dengan DNA hanya berbeda pada jenis basa pirimidinnya yaitu timin (*T*) diganti urasil *(U)* .
Protein ini dihasilkan dari terjemahan rantai kode triplet yang dibawa oleh *RNA*. Kode triplet ini dibentuk dari basa – basa nitrogen yang dimiliki oleh *RNA* yaitu *G*,*A*,*U*, dan *C* sehingga banyak kode triplet adalah $4^3 = 64$ buah. Kode triplet ini menjadi bahasa pengkodean dalam gen dan kode triplet ini disebut kodon.
Dalam paper ini akan dikaji representasi dari himpunan Kodon. Pembentukan dimulai dari pencocokan himpunan protein pembentuk RNA yang disimbolkan dengan *N = { C, U, A, G}* dengan himpunan $\mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_2 = \{(0,0),(1,0),(0,1),(1,1)\}$, setelah proses pencocokan, himpunan *N* tersebut membentuk struktur grup yang kemudian dicari subgrup normalnya dan diperoleh 3 subgrup normal . Selanjutnya dibentuk himpunan *NNN* yaitu himpunan 64 kodon,berdasarkan subgroup normalnya dan dengan menggunakan transformasi tertentu maka himpunan tersebut dapat direpresentasikan secara geometri.

Kata Kunci
DNA, *RNA*, Kodon, Subgrup Normal

1. PENDAHULUAN

Komponen penyusun utama gen adalah *DNA* (*Deoxyribonucleic Acid*). *DNA* ini terdapat di dalam sebuah inti sel dalam makhluk hidup. DNA berperan dalam membentuk RNA (*Ribonuclueic Acid*). *RNA* ini bertugas untuk membentuk protein. Proses ini dinamakan sintesis protein. Sintesis protein berlangsung dalam suatu sel makhluk hidup. Molekul pembentuk *DNA* adalah gula pentosa (deoksiribosa), fosfat (PO_4^-), basa nitrogen yang terdiri dari purin (guanin (*G*) dan adenine (*A*)) serta pirimidin (timin (*T*) dan sitosin (*C*)). *DNA* membentuk *RNA* sehingga molekul pembentuk *RNA* sama dengan *DNA* hanya berbeda pada jenis basa pirimidinnya saja yaitu urasil (*U*) dan sitosin (*C*) [7].

Kode genetik standar merupakan hasil pemikiran para ilmuwan biologi pada masanya sebagai suatu penyajian gen yang disesuaikan dengan kebutuhan tubuh manusia akan protein. Protein ini dihasilkan dari terjemahan rantai kode triplet yang dibawa oleh *RNA*. Kode triplet ini dibentuk dari basa – basa nitrogen yang dimiliki oleh *RNA* yaitu G,A,U, dan *C* sehingga banyak dari kode triplet adalah $4^3 = 64$ buah. Kode triplet ini menjadi bahasa pengkodean dan disebut dengan Kodon.

Dalam kajian Matematika,Kodon dapat diselidiki struktur aljabarnya, selain dari itu dapat pula dikaji representasinya secara geometri dalam dimensi tiga atau dimensi enam. Untuk menyajikan kodon dalam ruang berdimensi tiga, kumpulan basa nitrogen dalam RNA yang dinotasikan dengan himpunan *N* dicocokan dengan himpunan $\mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_2 = \{(1,1),(1,0),(0,0),(0,1)\}$ [1]., atau dapat juga dicocokan dengan himpunan $\mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_2 = \{(0,0),(1,0),(0,1),(1,1)\}$[5]. Setelah proses pencocokan, himpunan tersebut membentuk lapangan Galois empat unsur yang dinotasikan dengan GF(4), sehingga dengan transformasi geometri yang bersesuaian, *NNN* adalah himpunan semua 64 kodon yang dapat disajikan ke dalam ruang berdimensi tiga. [5].

Dalam hal lain, himpunan *NNN* dapat disajikan ke dalam ruang berdimensi enam. Hal ini dapat dilakukan karena himpunan *NNN* membentuk struktur yang isometrik dengan hypercube $(\mathbb{Z}_2)^6$[5]. *Hypercube* yang diperoleh sebanyak 24 buah berdasarkan tiga buah partisi yang dilakukan terhadap himpunan *N*. Pada paper ini hanya akan ditampilkan represenyasi Kodon sebagai *Hypercube* dimensi enam berdasarkan satu buah partisi yaitu berdasarkan klasifikasi basa kuat dan basa lemah *Nukleotida*

2. LANDASAN TEORI

Sebelum membahas penyajian Kodon dalamruang berdimensi enam, terlebih dahulu akan diberikan beberapa definisi atau teorema yang diperlukan.

Definisi 2.1. Diberikan $n \geq 1$ dengan $n \in \mathbb{N}$ dan G adalah lapangan. Grup Ortogonal $O_n(G)$ adalah

$$O_n(G) = \left\{ A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \middle| \; a_{ii} \in G \; \forall i \; dan \; A^t A = I \right\}. [6]$$

Definisi 2.2. Diberikan G adalah lapangan dan $O_n(G)$ adalah grup ortogonal. Grup Euclidean adalah $E_n(G) = \{(R, u) | \; R \in O_n(G), u \in G^n\}$ [2]

Definisi 2.3 Misalkan p bilangan bulat prima dan n bilangan bulat positif, maka lapangan yang terdiri dari p^n unsur adalah lapangan galois dan dinotasikan $GF(p^n)$. [4]

Definisi 2.4.Misal $V \neq \emptyset$ dikatakan ruang vektor atas lapangan F jika V adalah grup abelian terhadap operasi penjumlah dan untuk setiap $\alpha \in F$ dan $v \in V$ didefinisikan sebuah unsur $\alpha v \in V$ dan memenuhi kondisi berikut:

1. $\alpha(v + w) = \alpha v + \alpha w$
2. $(\alpha + \beta)v = \alpha v + \beta v$
3. $\alpha(\beta v) = (\alpha\beta)v$
4. $1v = v$

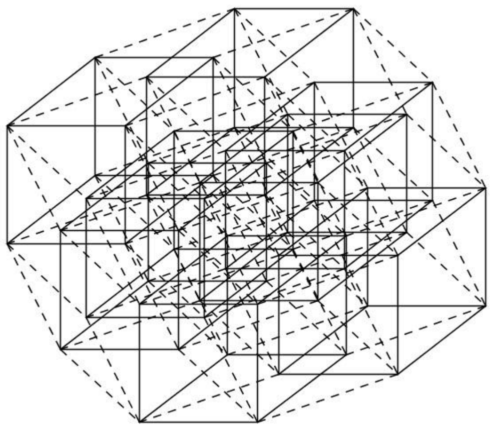
Untuk setiap $\alpha, \beta \in F$ dan $v, w \in V$ di mana 1 mewakili unsur satuan di F di bawah operasi perkalian. [4]

Definisi 2.5. Jose [5] Untuk setiap fungsi komposisi dengan bentuk $t_v \, o \, F$, disebut transformasi affine dengan F adalah transformasi linear dari suatu ruang vektor dan t_v adalah translasi yang bersesuaian dengan vektor $\boldsymbol{v}$.

2.1 Penyajian Enam Dimensi Kode Genetik Standar

Himpunan $\mathbb{Z}_2$ merupakan lapangan, sehingga himpunan yang dibentuk oleh $\mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_2 = (\mathbb{Z}_2)^6$ merupakan ruang vektor atas lapangan $\mathbb{Z}_2$. Himpunan $(\mathbb{Z}_2)^6$ memiliki basis standar yaitu $e_1 = (1,0,0,0,0,0)$, $e_2 = (0,1,0,0,0,0)$, $e_3 = (0,0,1,0,0,0)$, $e_4 = (0,0,0,1,0,0)$, $e_5 = (0,0,0,0,1,0)$, dan $e_6 = (0,0,0,0,0,1)$. Akibatnya, dimensi dari himpunan $(\mathbb{Z}_2)^6$ adalah enam. Himpunan $(\mathbb{Z}_2)^6$ biasa disebut *hypercube* enam dimensi.

Seperti yang telah dijelaskan di atas bahwa himpunan N dapat dicocokan dengan himpunan $\mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_2$, yaitu $C = (0,0)$, $U = (0,1)$, $A = (1,0)$, dan $G = (1,1)$. Akibatnya himpunan N menjadi grup terhadap penjumlahan. Selanjutnya juga, himpunan kode genetik standar NNN mempunyai struktur yang isomorfik dengan himpunan $(\mathbb{Z}_2)^6$, sehingga himpunan NNN merupakan ruang vektor atas lapangan $\mathbb{Z}_2$. Dengan demikian, basis standar dari NNN adalah $e_1 = (A, C, C)$, $e_2 = (U, C, C)$, $e_3 = (C, A, C)$, $e_4 = (C, U, C)$, $e_5 = (C, C, A)$, dan $e_6 = (C, C, U)$ dan dimensi dari himpunan NNN adalah enam, sehingga terbentuklah *hypercube* enam dimensi dari himpunan NNN.



Gambar 1. Gambar Hypercube enam dimesi dari himpunan NNN

2.2 Grup Euclidean $E_2(\mathbb{Z}_2)$

Himpunan $\mathbb{Z}_2$ merupakan lapangan, sehingga dapat dibentuk himpunan $O_2(\mathbb{Z}_2)$ yang merupakan grup ortogonal. Selanjutnya berdasarkan definisi 2.1 dan 2.2 grup Euclidean memerlukan suatu grup ortogonal, sehingga dapat dibentuk suatu himpunan baru yaitu

$$E_2(\mathbb{Z}_2) = \{(R, u) | R \in O_2(\mathbb{Z}_2), u \in (\mathbb{Z}_2)^2\}$$

Sifat 2.6 Himpunan $E_2(\mathbb{Z}_2)$ merupakan subgrup dari grup *affine*$A_2(\mathbb{Z}_2)$ [3] .

Himpunan N isomorfik terhadap $(\mathbb{Z}_2)^2$. Akibatnya setiap unsur dari $E_2(\mathbb{Z}_2)$ yaitu (R, u) akan memberikan transformasi *affine* untuk himpunan N. Transformasi *affine* dari (R, u) didefinisikan oleh :

$$T: N \to N$$
$$T(x) = (t_u \circ R)(x) = Rx + u, \text{ untuk setiap } x \in N.$$

Anggota dari himpunan $O_2(\mathbb{Z}_2)$ adalah $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$dan $\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$, serta anggota dari $\mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_2$ adalah (0,0), (0,1), (1,0), dan (1,1). Sehingga anggota dari $E_2(\mathbb{Z}_2)$ adalah $\left(\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}\right)$,

$\left(\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\ 0\end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\ 1\end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix}0 & 1\\ 1 & 0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\ 0\end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix}0 & 1\\ 1 & 0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\ 1\end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix}0 & 1\\ 1 & 0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\ 0\end{pmatrix}\right)$, dan $\left(\begin{pmatrix}0 & 1\\ 1 & 0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\ 1\end{pmatrix}\right)$.

Dengan menggunakan aksioma grup, himpunan $E_2(\mathbb{Z}_2)$ merupakan sebuah Grup.

Selanjutnya untuk melihat representasi dari himpunan kodon dalan ruang berdimensi enam, terlebih dahulu akan diselidiki partisi yang terjadi pada himpunan N . Terdapat tiga buah partisi yang terjadi yaitu himpunan $\wp_1 = \{\{C,G\},\{U,A\}\}$, $\wp_2 = \{\{C,A\},\{U,G\}\}$, dan $\wp_3 = \{\{C,U\},\{A,G\}\}$. Untuk himpunan pertama yaitu $\wp_1$ mempartisi himpunan N berdasarkan klasifikasi basa kuat nukleotida yang membentuk tiga ikatan hidrogen $S = \{C,G\}$ dan basa lemah nukleotida yang membentuk dua ikatan hidrogen $W = \{U,A\}$. Untuk himpunan kedua yaitu $\wp_2$ mempartisi berdasarkan klasifikasi kimia nukleotida yaitu amino nukleotida $M = \{C,A\}$ dan keto nukleotida $K = \{U,G\}$. Himpunan ketiga yaitu $\wp_3$ mempartisi berdasarkan jenis basa nukleotida pirimidin $Y = \{C,U\}$ dan purin $R = \{A,G\}$.

3. PEMBAHASAN

Berdasarkan partisi yang terjadi pada himpunan N, akan dapat dilihat representasi nya berdasarkan klasifikasi basa kuat dan basa lemah nukleotida, berdasarkan klasifikasi kimia nukleotida dan berdasarkan basa nukleotida pirimidin dan purin. Dalam paper ini hanya akan dibahas klasifikasi berdasarkan klasifikasi kimia nukleotida.

Pencocokan awal adalah urutan (C,U,A,G) yang akan dikaitkan dengan himpunan $\wp_2$. Dalam himpunan ini matriks yang digunakan untuk transformasi awal adalah matriks $A_{12} = \begin{pmatrix}1 & 1\\ 0 & 1\end{pmatrix}$ atau $A_{21} = \begin{pmatrix}1 & 0\\ 1 & 1\end{pmatrix}$. Dengan memilih matriks A_{21} sebagai transformasi awal sehingga urutan (C,U,A,G) akan berubah menjadi (C,U,G,A). Sehingga dengan matriks tersebut merubah G menjadi A dan sebaliknya mempertahankan C dan U. Selanjutnya dengan menggunakan unsur dari grup Euclidean $E_2(\mathbb{Z}_2)$ yaitu $\left(\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\ 0\end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\ 1\end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\ 0\end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\ 1\end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix}0 & 1\\ 1 & 0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\ 0\end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix}0 & 1\\ 1 & 0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\ 1\end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix}0 & 1\\ 1 & 0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\ 0\end{pmatrix}\right)$, dan $\left(\begin{pmatrix}0 & 1\\ 1 & 0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\ 1\end{pmatrix}\right)$ pada pengurutan awal (C,U,G,A) akan dihasilkan (C,U,G,A), (U,C,A,G), (G,A,C,U), (A,G,U,C), (C,G,U,A), (U,A,C,G), (G,C,A,U), dan (A,U,G,C). Sehingga ada delapan perubahan pengurutan berdasarkan $\wp_2$.

Perubahan pertama berdasarkan $\wp_2$ dilakukan dengan unsur grup Euclidean yang pertama yaitu $\left(\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\ 0\end{pmatrix}\right)$ terhadap pengurutan awal (C,U,A,G) yang telah di transformasikan dahulu dengan matriks A_{21} menjadi (C,U,G,A). Sehingga didapat pencocokan baru yaitu $C = (0,0), U = (0,1), G = (1,0)$, dan $A = (1,1)$ kemudian ditransformasi sebagai berikut,

- Untuk perubahan basa C

$$\begin{pmatrix}x'\\ y'\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}0\\ 0\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}0\\ 0\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0\\ 0\end{pmatrix} = C$$

- Untuk perubahan basa U

$$\begin{pmatrix}x'\\ y'\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}0\\ 1\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}0\\ 0\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0\\ 1\end{pmatrix} = U$$

- Untuk perubahan basa A

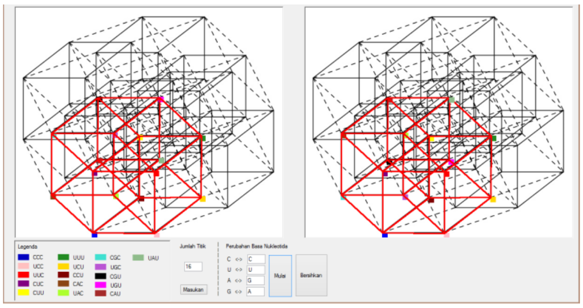
$$\begin{pmatrix}x'\\ y'\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1\\ 0\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}0\\ 0\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}1\\ 0\end{pmatrix} = G$$

- Untuk perubahan basa G

$$\begin{pmatrix}x'\\ y'\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1\\ 1\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}0\\ 0\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}1\\ 1\end{pmatrix} = A$$

Sehingga pencocokan awal mengalami perubahan oleh transformasi $\left(\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\ 0\end{pmatrix}\right)$ menjadi (C,U,G,A).

Berikut adalah gambar geometri dari perubahan oleh transformasi $\left(\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\ 0\end{pmatrix}\right)$ berdasarkan $\wp_2$ dalam ruang berdimensi enam melalui dua kubus yang dapat dipandang sebagai subset dari *hypercube* NNN.



Gambar 2. Perubahan $(\mathrm{C,U,A,G})$ menjadi $(\mathrm{C,U,G,A})$

Perubahan kedua dilakukan dengan unsur grup Euclidean yang pertama yaitu $\left(\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\ 1\end{pmatrix}\right)$ terhadap pengurutan awal (C,U,A,G) yang telah di transformasikan dahulu dengan matriks A_{21} menjadi

(C,U,G,A). Sehingga didapat transformasi sebagai berikut,

- Untuk perubahan basa C

$$\begin{pmatrix}x'\\y'\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}=U$$

- Untuk perubahan basa U

$$\begin{pmatrix}x'\\y'\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix}=C$$

- Untuk perubahan basa A

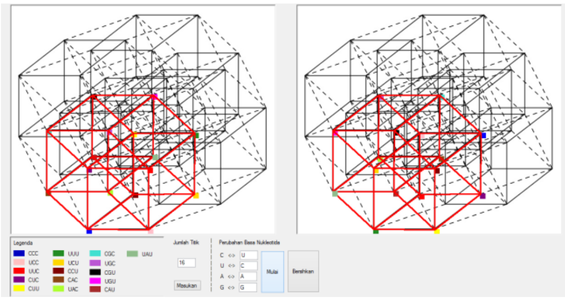
$$\begin{pmatrix}x'\\y'\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix}=A$$

- Untuk perubahan basa G

$$\begin{pmatrix}x'\\y'\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}=G$$

Sehingga pencocokan awal mengalami perubahan oleh transformasi $\left(\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}\right)$ menjadi (U,C,A,G).

Berikut adalah gambar geometri dari perubahan oleh transformasi $\left(\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}\right)$ berdasarkan $\wp_2$ dalam ruang berdimensi enam melalui dua kubus yang dapat dipandang sebagai subset dari *hypercube* NNN.

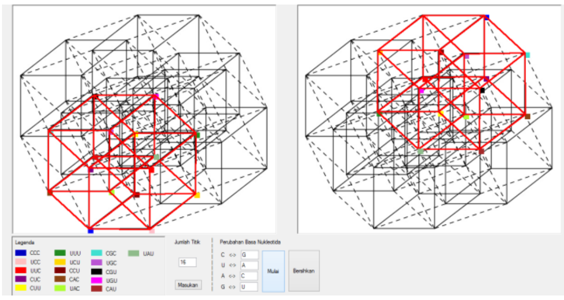


Gambar 3. Perubahan $(\mathrm{C,U,A,G})$ menjadi $(\mathrm{U,C,A,G})$

Selanjutnya, dengan hal yang sama maka perubahan yang dihasilkan dengan unsur Euclidean $\left(\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix}0&1\\1&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix}0&1\\1&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix}0&1\\1&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}\right)$, dan $\left(\begin{pmatrix}0&1\\1&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix}\right)$ secara berurut menjadi (G,A,C,U), (A,G,U,C), (C,G,U,A), (U,A,C,G), (G,C,A,U), dan (A,U,G,C).

Berikut adalah gambar geometri dari perubahan oleh transformasi $\left(\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix}0&1\\1&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix}0&1\\1&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}\right)$, $\left(\begin{pmatrix}0&1\\1&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}\right)$, dan $\left(\begin{pmatrix}0&1\\1&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix}\right)$ secara berurut berdasarkan $\wp_2$ dalam ruang berdimensi enam melalui dua kubus yang dapat dipandang sebagai subset dari *hypercube* NNN.

.



Gambar 4. Perubahan $(\mathrm{C,U,A,G})$ menjadi $(\mathrm{G,A,C,U})$

Dengan cara yang sama,akan diperoleh pnyajian dari perubahan (C,U,A,G) menjadi(A,G,U,C), (C,G,U,A), (U,A,C,G), (G,C,A,U), dan (A,U,G,C).

Untuk lebih jelasnya berikut adalah 8 penyajian kode genetik standar dalam bentuk tabel.

Tabel 1. Penyajian Kode Genetik Standar dalam Aljabar

$\wp_2$	$\boldsymbol{A_{21}}$	$\left(\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix}\right)$	$(C,U,A,G) \leftrightarrow (C,U,G,A)$
		$\left(\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}\right)$	$(C,U,A,G) \leftrightarrow (U,C,A,G)$
		$\left(\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}\right)$	$(C,U,A,G) \leftrightarrow (G,A,C,U)$
		$\left(\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix}\right)$	$(C,U,A,G) \leftrightarrow (A,G,U,C)$
		$\left(\begin{pmatrix}0&1\\1&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix}\right)$	$(C,U,A,G) \leftrightarrow (C,G,U,A)$
		$\left(\begin{pmatrix}0&1\\1&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}\right)$	$(C,U,A,G) \leftrightarrow (U,A,C,G)$
		$\left(\begin{pmatrix}0&1\\1&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}\right)$	$(C,U,A,G) \leftrightarrow (G,C,A,U)$
		$\left(\begin{pmatrix}0&1\\1&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix}\right)$	$(C,U,A,G) \leftrightarrow (A,U,G,C)$

4. KESIMPULAN

Himpunan $E_2(\mathbb{Z}_2)$ merupakan subgrup dari grup *affine*$A_2(\mathbb{Z}_2)$. Sehingga unsur dari $E_2(\mathbb{Z}_2)$ dapat memberikan transformasi *affine* terhadap himpunan N.

Selanjutnya dengan himpunan grup Euclidean $E_2(\mathbb{Z}_2)$ beserta tiga himpunan yang memuat semua partisi N maka himpunan kodon dapat dilihat representasinya secara geometri. Setelah N dipartisi berdasarkan klasifikasi basa kuat dan basa lemah nukleotida ,diperoleh 8 representasi sebagai *hypercube* enam dimensi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A.Jimenez Montano, M., la, C. R., Basanez, M., & Poschel, T. (1996). On the Hypercube Structure of the Genetic Code. *World Scientific*, 445.

[2] Baez, J. (2008). *The Euclidean Group.*

[3] Birkhoff, G. (2012). The Orthogonal and Euclidean Group. In *A Survey of Modern Algebra* (p. 272). New York: Macmillan Publishing Co., inc.

[4] Galian, J. A. (2010). *Contemporary Abstract Algebra* (7nd ed.). USA.

[5] Jose, M. V., R.Morgado, E., Sanchez, R., & Govezensky, T. (2012). The 24 Possible Algebraic Representation of the Standard Genetic Code in Six or Three Dimensions. *Advanced Studies in Biology*, 119-152..

[6] Procesi, C. (2006). Orthogonal and Symplectic Groups. In S. Axler, & K. Ribet (Eds.), *Lie Groups An Approach Through Invariants and Representations* (p. 117). North America: Spinger.

[7] Rachmawati, F., Urifah, N., & Wijayati, A. (2009). Materi Genetik. In Erminawati (Ed.), *Biologi* (pp. 42-53). Jakarta: Pusat Perbukuan.