

Enkripsi Pesan dengan DNA dan Penyembunyiannya

Muhammad Anwari Leksono - 13508037

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

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

if18037@students.if.itb.ac.id

Abstract—DNA merupakan bagian dari makhluk hidup yang berukuran kecil namun mengandung informasi besar. Penggunaan DNA untuk enkripsi pesan memberikan keuntungan baik pada enkripsi maupun penyamarannya. Pesan yang dikodekan dengan DNA dapat dijadikan sebuah protein yang dapat dikirimkan berikut dengan kandungannya. Pesan terenkripsi disampaikan dalam bentuk protein sehingga akan mengurangi kecurigaan terhadap pesan. Pengirim dan penerima pesan adalah para ahli pada ilmu yang bersangkutan yaitu biologi molekuler.

Index Terms—Protein, DNA, Enkripsi, Penyamaran.

I. PENDAHULUAN

Banyak algoritma enkripsi yang ditawarkan beserta dengan tingkat kesulitannya. Makin kompleks suatu algoritma enkripsi umumnya makin sulit untuk dipecahkan namun sebenarnya masih dapat dipecahkan hanya pemecahannya membutuhkan waktu lama. Algoritma yang sama sekali tidak bisa dipecahkan membutuhkan kunci yang sepanjang dengan teks asli dan seluruh karakter kunci harus murni acak.

Hasil enkripsi dari algoritma yang ada umumnya memancing kecurigaan karena hasil enkripsinya cenderung tidak berbentuk kalimat atau bentuk yang umum dikenal oleh manusia, misalnya urutan huruf yang terlihat berantakan dan tidak bermakna. Solusi yang ditawarkan untuk masalah ini adalah penyembunyian dengan teknik steganografi. Pesan disembunyikan dengan gambar dan gambar tersebut dikirimkan. Dalam proses dekripsinya pihak penerima tentu harus memakai kunci yang sama dengan pihak yang melakukan enkripsi.

Salah satu algoritma yang digunakan untuk enkripsi adalah DNA-Based-Cryptography. Algoritma ini dapat mengubah karakter pada pesan menjadi sebuah kode-kode penyusun DNA. Pada makalah ini enkripsi pesan dan penyembunyiannya dilakukan dengan meniru cara penerjemahan DNA menjadi senyawa kimia.

II. DASAR TEORI

A. DNA/RNA dan Replikasinya

DNA/RNA merupakan komponen yang berisi informasi mengenai detail sebuah makhluk hidup. Semua informasi mengenai sifat, struktur tubuh, dan kinerjanya tersimpan rapi dalam DNA/RAN. DNA/RNA secara umum berada

dalam inti sebuah sel dan sel sendiri adalah bagian terkecil dari makhluk hidup yang masih bersifat structural dan fungsional. DNA terdiri dari 4 basa nitrogen yaitu Adenin, Guanin, Cytosin dan Timin sedangkan untuk RNA basa nitrogen yang berbeda adalah Urasil sebagai pengganti Timin. Masing-masing basa nitrogen akan dikodekan menurut huruf awalnya sehingga semua basa nitrogen dapat disebut dengan A, T, G, C, dan U.

Masing-masing basa memiliki pasangannya masing-masing, yaitu A berpasangan T, T berpasangan dengan A, G berpasangan dengan C, dan C berpasangan dengan G. hal ini berlaku pada rantai DNA tapi tidak pada rantai RNA. Pada RNA A dipasangkan dengan U.

Perbedaan antara masing-masing pasangan terletak pada kuatnya ikatan antara mereka. Ikatan A dengan T/U lebih lemah dibandingkan dengan ikatan antara G dengan C karena jumlah ikatan yang dimiliki A dengan T/U berjumlah dua sedangkan G dengan C berjumlah 3.

Basa nitrogen akan memiliki arti jika berkelompok dengan jumlah anggota adalah 3 basa nitrogen. Sebuah basa nitrogen A hanya memiliki arti bahwa ia adalah senyawa kimia Adenin dan hal yang sama berlaku untuk basa nitrogen yang lain. Namun kelompok AUG memiliki arti lain selain arti untuk masing-masing basa nitrogen, yaitu nama sebuah senyawa kimia penyusun protein, Metionin.

Pembacaan suatu rantai basa nitrogen dilakukan tiap 3 huruf. Rantai akan dibaca jika diawali dengan kelompok AUG dan pembacaan akan diakhiri ketika kelompok UAA, UAG, UGA yang berarti STOP. Ketiga kelompok ini juga menyatakan senyawa kimia yang berbeda. Masing-masing basa nitrogen memiliki pasangannya yaitu A berpasangan dengan T/U dan G berpasangan dengan C.

Penerjemahan DNA menjadi senyawa kimia dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu :

1. Penentuan rantai DNA yang akan dibaca
2. Pembentukan senyawa *mRNA* sesuai dengan DNA yang akan dibaca. Proses ini dimulai dengan penyusunan basa-basa yang menjadi lawan dari basa-basa yang ada pada DNA, yaitu A dengan U, T dengan A, G dengan C, dan C dengan G.
3. Pembacaan *mRNA* menjadi senyawa kimia oleh *tRNA*. *tRNA* melakukan pembacaan per 3 karakter dan menyusun senyawa kimia yang bersesuaian dengan basa-basa yang sedang ia baca. Setelah

semua basa selesai dibaca maka rantai senyawa selesai pula dibentuk.

Kelompok basa nitrogen yang berbeda dapat mengkodekan senyawa kimia yang sama namun *methionine* hanya dikodekan oleh satu kelompok basa, yaitu AUG.

B. Kriptografi

Kriptografi adalah praktek dan ilmu mengenai cara-cara menyembunyikan informasi. Kriptografi dapat terjadi pada pesan dengan cara pembacaan per-karakter ataupun dengan pembacaan per-bit dengan bantuan komputer. Enkripsi pesan dapat dilakukan per-karakter atau dengan per-blok-karakter. Dalam prosesnya diperlukan kunci untuk enkripsi dan dekripsi pesan.

Salah satu teknik kriptografi yang klasik adalah teknik substitusi tunggal. Teknik melakukan substitusi terhadap satu karakter dengan karakter/blok karakter.

C. Steganografi

Steganografi adalah seni dan ilmu penulisan pesan dengan suatu cara sedemikian rupa sehingga tidak ada orang yang menyadari keberadaan pesan tersebut. Biasanya pesan ditulis dalam gambar sehingga keberadaannya cenderung tidak terdeteksi.

III. ENKRIPSI DENGAN DNA

Enkripsi DNA ini dilakukan dengan cara substitusi per-karakter pada pesan. Jumlah karakter yang akan divalidasi untuk proses enkripsi/dekripsi berjumlah 26 karakter huruf alphabet dengan jenis huruf kapital. Jumlah basa nitrogen untuk DNA/RNA adalah 4 yaitu A, T/U, G, dan C. Jumlah basa nitrogen ini akan dikombinasikan sebanyak 3 buah sehingga akan dihasilkan jumlah kombinasi yang mungkin adalah $4^3 = 64$ kombinasi..

Kunci dari enkripsi ini adalah suatu table yang menampilkan satu karakter dengan blok basa nitrogen yang bersesuaian. Berikut ini adalah contoh table kunci yang dapat digunakan untuk huruf A s.d J:

No Index.	Karakter	Blok Basa Nitrogen
0	A	ATG
1	B	TGA
2	C	GAT
3	D	TGG
4	E	ACG
5	F	CGA
6	G	TCT
7	H	GCT
8	I	GTT
9	J	GTA

Table 1 : Tabel Kunci.

Dalam bentuk kode program C#, table tersebut pada direpresentasikan seperti berikut :

```
public static char[] karakter =
{'A','B','C','D','E','F','G','H','I','J'}

public static string[] code =
{"ATG","TGA","GAT","TGG","ACG","CGA","TCT","GCT","GTT","GTA"};
```

Tabel di atas merupakan contoh penggunaan blok untuk mengkodekan 10 karakter alphabet dari A s.d. J sehingga dengan table ini, pesan yang dapat dienkrpsi dengan baik adalah pesan yang hanya mengandung huruf antara A, B, C, D, E, F, G, H, I, atau J. Jika pesan mengandung karakter di luar itu maka pesan tidak akan terenkripsi dengan baik karena selain 10 karakter yang telah disebutkan tidak ada kode yang sesuai. Nmaun jika terdapat karakter alfabaet huruf kecil maka huruf tersebut akan diubah menjadi huruf besar terlebih dahulu.

Pada tahap pertama dalam enkripsi dan penyembunyian rantai pesan asli (*plaintext*) akan diubah menjadi sebuah rantai DNA yang merupakan komposisi dari 4 basa nitrogen A, T, G, dan C. Misalkan ada sebuah pesan pendek Gajah Adi. Pesan ini kemudian dibaca sebagai sebuah *String*. Pada pesan ini terdapat huruf kecil yang tidak terdapat pasangannya untuk dienkrpsi dengan Tabel Kunci (Tabel 1) sehingga pesan akan diperbaiki dahulu dengan mengganti huruf kecil dengan huruf besar yang bersesuaian. Selain itu pesan ini juga mengandung spasi antara Gajah dan Adi sehingga pada perbaikan pesan spasi akan dibuang/tidak dibaca karena tidak terdapat informasi mengenai pengkodean spasi pada Tabel Kunci.

Setelah diperbaiki maka pesan pendek tadi akan menjadi GAJAHADI yang kemudian akan diubah menjadi sebuah rantai DNA dengan translasi masing-masing karakter dengan pasangannya di Tabel Kunci. Hasil translasi pesan GAJAHADI adalah TGCATGGTAATGGCTATGGACTGC. Kode program yang digunakan untuk translasi adalah sebagai berikut :

```
public static string toDNA(string s)
{
    int i = 0, f = s.Length - 1;
    StringBuilder t = new
    StringBuilder();
    while (i <= f)
    {
        if (s.ElementAt(i) == 'A') { t.Append(code[0]); }
        else if
        (s.ElementAt(i) == 'B') {
        t.Append(code[1]); }
        else if
        (s.ElementAt(i) == 'C') {
        t.Append(code[2]); }
    }
```

```

        else if
(s.ElementAt(i) == 'D') {
t.Append(code[3]); }
        else if
(s.ElementAt(i) == 'E') {
t.Append(code[4]); }
        else if
(s.ElementAt(i) == 'F') {
t.Append(code[5]); }
        else if
(s.ElementAt(i) == 'G') {
t.Append(code[6]); }
        else if
(s.ElementAt(i) == 'H') {
t.Append(code[7]); }
        else if
(s.ElementAt(i) == 'I') {
t.Append(code[8]); }
        else if
(s.ElementAt(i) == 'J') {
t.Append(code[9]); }
        else { }
        ++i;
    }
    return t.ToString();
}

```

Setelah rantai pesan terbentuk, pembuatan pesan yang akan dibaca sebagai *mRNA* dibuat. Pembuatan *mRNA* dilakukan dengan membuat rantai pesan baru yang elemennya merupakan lawan dari elemen pesan DNA yang bersesuaian, karakter A diganti dengan U, T diganti dengan A, G diganti dengan C, dan C diganti dengan G.

Pada rantai DNA untuk GAJAH ADI, TGCATGGTAATGGCTATGGACTGC, *mRNA* yang dihasilkan adalah AUGACGUACCAUUACCGAUACCUGACGUGA. Berikut ini adalah contoh kode program C# untuk membuat *mRNA* dari rantai DNA yang ada.

```

public static string toRNA(string s)
{
    int i = 0, f = s.Length -
1;
    StringBuilder t = new
StringBuilder();
    while (i <= f)
    {
        if(s.ElementAt(i) ==
'A'){ t.Append('U'); }
        else if
(s.ElementAt(i) == 'T') {
t.Append('A'); }
        else if
(s.ElementAt(i) == 'G') {
t.Append('C'); }
        else if
(s.ElementAt(i) == 'C') {
t.Append('G'); }
        else { }
        ++i;
    }
    return "AUG" +
t.ToString() + "UGA";
}

```

```

}

```

Setelah *mRNA* berhasil dibentuk pada awal dan akhir rantai *mRNA* ditambahkan kode AUG dan UGA yang bertindak sebagai tanda START dan STOP untuk masing-masing tambahan tersebut. Kedua imbuhan ini diperlukan karena penerjemahan rantai *mRNA* menjadi rantai protein memerlukan kode START dan STOP sebagai tanda bahwa pembacaan telah berakhir.

IV. DEKRIPSI PESAN

Hasil enkripsi pesan adalah *mRNA* sehingga untuk melakukan dekripsi proses yang terjadi hal yang perlu dilakukan adalah membalikkan urutan proses. Pada proses enkripsi pesan dikodekan dalam bentuk DNA lalu dari DNA tersebut dibentuklah bentuk *mRNA*-nya. Untuk mendekripsi *ciphertext* proses ini dijalankan secara terbalik.

Tahap pertama dalam dekripsi adalah mengubah kembali sebuah mRNA menjadi DNA dengan cara menghilangkan kode AUG dan UGA yang masing-masing berada pada awal dan akhir mRNA dan mengubah masing-masing karakter pada mRNA dengan pasangan karakter tersebut yaitu A diganti dengan T., U diganti dengan A, G diganti dengan C, dan C diganti dengan G.

Berikut ini adalah kode program C# untuk tahap pertama dekripsi.

```

public static string fromRNA(String s)
{
    s = s.Substring(3,s.Length
- 6);
    string result = null;
    int i = 0;
    while (i <= s.Length - 1)
    {
        if (s.ElementAt(i) ==
'A') { result += 'T'; }
        else if
(s.ElementAt(i) == 'U') { result +=
'A'; }
        else if
(s.ElementAt(i) == 'G') { result +=
'C'; }
        else if
(s.ElementAt(i) == 'C') { result +=
'G'; }
        else { }
        ++i;
    }
    return result;
}

```

Hasil dari kode di atas adalah TCTATGGTAATGGCTATGTGGGTT.

Setelah DNA terbentuk, tahap selanjutnya adalah pembacaan per-3-karakter untuk mengubah masing-masing 3 karakter tersebut menjadi huruf alphabet seperti semua, dengan kata lain perubahan dari kode

TCTATGGTAATGGCTATGTGGGTT menjadi GAJAHADI kembali. Berikut ini adalah kode program yang digunakan untuk mengembalikan DNA ke bentuk teks semula.

```
public static string toTeks(String s)
{
    int i = 0, j = 1, k = 2;
    StringBuilder t = new
    StringBuilder();
    string result = null;
    while (k <= s.Length - 1)
    {
        t.Append(s.ElementAt(i));
        t.Append(s.ElementAt(j));
        t.Append(s.ElementAt(k));
        if (t.ToString() ==
        code[0]) { result = result + 'A'; }
        else if (t.ToString()
        == code[1]) { result = result + 'B'; }
        else if (t.ToString()
        == code[2]) { result = result + 'C'; }
        else if (t.ToString()
        == code[3]) { result = result + 'D'; }
        else if (t.ToString()
        == code[4]) { result = result + 'E'; }
        else if (t.ToString()
        == code[5]) { result = result + 'F'; }
        else if (t.ToString()
        == code[6]) { result = result + 'G'; }
        else if (t.ToString()
        == code[7]) { result = result + 'H'; }
        else if (t.ToString()
        == code[8]) { result = result + 'I'; }
        else if (t.ToString()
        == code[9]) { result = result + 'J'; }
        else { }
        t.Clear();
        k += 3; j += 3; i +=
        3;
    }
    return result;
}
```

V. PENYEMBUNYIAN PESAN

Penyembunyian pesan terenkripsi, dalam hal ini *ciphertext* adalah *mRNA*, dilakukan penerjemahan *mRNA* menjadi rantai senyawa kimia. Pada penerjemahan *mRNA* menjadi rantai kimia dilakukan pembacaan per-3-karakter dan menerjemahkan 3 karakter tersebut menjadi nama senyawa kimia. Berikut ini adalah tabel yang digunakan untuk penerjemahan tersebut.

Index	Kode	Senyawa
0	ATG	TYROSIN
1	TGA	THREONINE
2	GAT	LEUCINE
3	TGG	TRYTOPHAN
4	ACG	CYSTEINE
5	CGA	ALANINE
6	TCT	SERINE
7	GCT	ARGININE
8	GTT	VALINE
9	GTA	HISTIDINE

Table 2 : Tabel Senyawa Kimia

Hasil *mRNA* untuk pesan GAJAH ADI adalah AUGACGUACCAUUACCGAUACCUGACGUGA sehingga hasil dari translasinya adalah METHIONINE-SERINE-TYROSINE-HISTIDINE-TYROSINE-ARGININE-TYROSINE-TRYPTOPHAN-VALINE. Berikut ini adalah kode program yang digunakan untuk menerjemahkan kode-kode tersebut.

```
public static string toAcid(string s)
{
    int i = 0, j = 1, k = 2;
    string result = null;
    StringBuilder t = new
    StringBuilder();
    while (k <= s.Length - 1)
    {
        t.Append(s.ElementAt(i));
        t.Append(s.ElementAt(j));
        t.Append(s.ElementAt(k));
        if (t.ToString() ==
        "AUG") { result = result +
        "METHIONINE"; }
        else if (t.ToString()
        == "UAC") { result = result + acid[0];
        }
        else if (t.ToString()
        == "ACU") { result = result + acid[1];
        }
        else if (t.ToString()
        == "CUA") { result = result + acid[2];
        }
        else if (t.ToString()
        == "ACC") { result = result + acid[3];
        }
        else if (t.ToString()
        == "UGC") { result = result + acid[4];
        }
        else if (t.ToString()
        == "GCU") { result = result + acid[5];
        }
    }
}
```

```

        else if (t.ToString()
== "AGA") { result = result + acid[6];
}
        else if (t.ToString()
== "CGA") { result = result + acid[7];
}
        else if (t.ToString()
== "CAA") { result = result + acid[8];
}
        else if (t.ToString()
== "CAU") { result = result + acid[9];
}
        else { }
        if (t.ToString() !=
"UGA") { result += "-"; }
        t.Clear();
        i += 3; j += 3; k +=
3;
    }
    return result;
}

```

Target pengiriman pesan ini adalah sebuah lembaga yang bergerak dibidang obat-obatan, medis, dan bahan kimia, bukan lembaga penerangan sehingga kecurigaan bentuk pesan yang seperti ini dapat berkurang.

VI. PEMBAHASAN

Enkripsi pesan dengan cara ini mirip dengan cara enkripsi substitusi biasa karena yang dilakukan untuk membuat pesan jadi rusak adalah dengan menukar masing-masing karakter pada pesan dengan karakter lain/blok karakter lain. Kunci enkripsi pada makalah ini adalah Tabel 1.

Kombinasi untuk pengkodean setiap karakter pada pesan dengan 4 buah basa dapat berjumlah banyak. Contoh yang diberikan dalam tulisan hanya 10 karakter dengan menggunakan blok karakter berukuran 3 karakter sehingga jumlah kombinasi yang mungkin muncul adalah 64 macam. Jumlah ini kurang jika harus mengenkripsi pesan dengan huruf besar dan huruf kecil yang dibedakan. Jika menggunakan blok karakter berukuran 4 karakter maka jumlah kombinasi yang mungkin muncul adalah $4^4 = 256$. Jumlah ini cocok dengan jumlah karakter ASCII, yaitu 256 karakter. Dengan demikian jika cara ini diaplikasikan dengan cara menggunakan enkripsi dengan blok lebih dari 3 karakter dan jumlah target enkripsi yang lebih dari 20 buah maka pada proses penyamaran akan terdapat banyak senyawa yang berbeda sehingga kemampuan untuk interpretasi pesan sangat diperlukan dalam proses pengambilan pesan dari penyamarannya. Dalam makalah ini penulis tidak membuat cara untuk mengembalikan sebuah *mRNA* dari sebuah rantai senyawa.

Penyerangan pada enkripsi ini akan memakan waktu lama dengan *brute force* karena pihak penyerang tidak tahu berapa ukuran blok karakter yang digunakan. Pada makalah ini ukuran yang digunakan adalah 3 karakter sehingga untuk pemecahannya relative mudah asalkan penyerang memiliki pengetahuan dasar mengenai cara sebuah rantai DNA diterjemahkan menjadi rantai senyawa

kimia. Jika ukuran blok lebih besar maka waktu yang diperlukan untuk memecahkan pesan akan menjadi lebih lama.

Pada bagian penyamaran tiap 3 karakter akan diterjemahkan menjadi sebuah senyawa kimia dan pada tabel yang digunakan tiap senyawa diwaliki oleh kode yang unik padahal pada kenyataannya berbeda. Secara teori pembacaan dan pengkodean sebuah senyawa kimia memang dilakukan dengan blok 3 karakter namun senyawa yang dihasilkan hanya berjumlah 20 senyawa saja. Dengan kata lain dari 64 kombinasi yang ada jumlah senyawa yang dihasilkan hanya 20. Hal ini terjadi karena ada senyawa yang dikodekan dengan lebih dari satu blok 3 karakter, sebagai contoh, senyawa *Leucine* dapat dikodekan dengan UUA, UUG, CUU, CUC, CUA, dan CUG dan senyawa arginine dapat dihasilkan dari 2 blok 3 karakter, yaitu AGA dan AGG.

Selain itu titik awal pesan mudah untuk ditebak karena pada pembacaan *mRNA* menjadi rantai senyawa kimia, rantai tersebut harus selalu dimulai dengan kode AUG yang berarti *Methionine* dan yang cukup memudahkan adalah *Methionine* hanya dikodekan oleh satu macam kelompok 3 karakter, yaitu AUG.

Lain halnya dengan kode untuk menyatakan STOP. Kelompok 3 karakter yang mengkodekan stop berjumlah 3 sehingga hal ini dapat digunakan untuk mengecoh pihak asing. Misalkan jika pesan GAJAH ADI dienkripsi dengan penggantian kode translasi karakter 'A' pada *mRNA* dengan salah satu kode STOP yang lain, yaitu UAG. Pesan yang dihasilkan adalah AUGUAGUACCAUUACCGAUACACCCAAUGA. Hal ini dapat mengecoh pihak asing yang berpikir bahwa pesan selalu diakhiri dengan kode STOP. Selain itu jika pihak asing juga berpikir bahwa pesan selalu diawali dengan AUG untuk pembacaan maka mereka dapat mengira pesan adalah dimulai dari AUGUAGUACCAUUACCGAUACACCCAAUGA atau AUGUAGUACCAUUACCGAUACACCCAAUGA.

Tingkat pengecohkan akan semakin tinggi jika penggunaan blok berukuran lebih besar untuk translasi karakter digunakan dan hasil enkripsi, mRNA, tetap dibaca tiap 3 karakter. Sebagai contoh, misalkan AUGGAC berarti huruf 'A' namun pada penerjemahan pesan menjadi rantai senyawa AUGGAC akan menghasilkan 2 senyawa yang berbeda, yaitu *Methionine* dan *Aspartic Acid*. Dengan adanya hal ini, pihak yang berpikir bahwa karakter dikodekan dengan 3 karakter akan berpikir bahwa AUGCAG mengkodekan 2 karakter.

Kekurangan dari enkripsi dengan cara ini adalah hasil enkripsi pesan akan berukuran tiga kali lipat ukuran pesan awal ditambah dengan ukuran 6 karakter tambahan. Selain itu kunci terdapat pada sebuah tabel sehingga jika tabel ini berhasil didapatkan orang lain maka pesan akan terpecahkan dengan mudah. Selain itu jika satu karakter dikodekan oleh blok karakter yang lebih besar maka ukuran *ciphertext* yang dihasilkan juga akan menjadi lebih besar dan proses penyamarannya juga semakin sulit dan hasil proses penyamaran juga akan semakin besar.

VII. KESIMPULAN DAN SARAN

Pengiriman pesan dengan tampilan kode dapat menimbulkan kecurigaan terutama jika pesan dikirimkan dalam bentuk terenkripsi dan bentuknya tidak beraturan. Pengiriman pesan dapat dilakukan dengan cara menyembunyikan pesan terlebih dahulu baik dalam gambar atau bentuk lain atau menyusun pesan sedemikian sehingga tidak menarik perhatian orang lain.

Proses enkripsi dengan cara seperti yang telah diuraikan diatas lebih baik dilakukan dengan ukuran blok yang besar untuk masing-masing karakter dengan pembacaan tetap dilakukan tiap 3 karakter. Hal ini bertujuan agar pihak asing yang membaca cukup dibingungkan dengan banyaknya interpretasi yang muncul.

REFERENCES

- [1] Oded Goldreich, Foundations of Cryptography, Volume 1: Basic Tools, Cambridge University Press, 2001, ISBN 0-521-79172-3.
- [2] David Kahn, The Codebreakers, 1967, ISBN 0-684-83130-9.
- [3] Wayner, Peter (2002). Disappearing cryptography: information hiding: steganography & watermarking. Amsterdam: MK/Morgan Kaufmann Publishers. ISBN 1-55860-769-2..
- [4] "All Cells Replicate Their Hereditary Information by Templated Polymerization". Bruce Alberts, et al.
- [5] DNA-Based Cryptography Ashish Gehani, Thomas LaBean, and John Reif, Department of Computer Science, Duke University.
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/Genetic_code#Genetic_code (diakses pada tanggal 22 Maret 2011 pukul 21.35).

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, 23 Maret 2011

Muhammad Anwari Leksono
13508037