

Desain dan Simulasi *Encoder-Decoder* Berbasis Angka Sembilan Untuk Transmisi Informasi Digital

Bobby Yuhanda¹, Nasaruddin², Syahrial³

Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Syiah Kuala
Jl. Syech Abdurrauf No. 7 Darussalam, Banda Aceh

E-mail: ¹bobbyyuhanda@ymail.com, ²nasaruddin@unsyiah.ac.id, ³syahrial@gmail.com

Masuk: 6 Agustus 2014; Direvisi: 28 Agustus 2015; Diterima: 29 Agustus 2015

Abstract. *The development of information and communication technology is growing rapidly, particularly in the transmission of digital information. The process of transmitting digital information through the communication channel will be interferenced by noise, distortion and multipath fading so that the information is likely to experience an error or incorrect detection at the receiver, which can decrease the system performance. This research proposes the design and simulation of encoder-decoder based on the number nine to transmit digital information reliably and precisely. The goal of this research is to design and simulate the encoder decoder as a scheme of error detection and correction and to reduce bit error rate that occurs during the process of transmitting digital information. The research method uses design and computer simulation where the encoder-decoder is modeled mathematically, design is structured and a computer simulation is developed for the performance of encoder-decoder based on the number nine in the transmission of digital information. The result of this research shows that the proposed encoder-decoder can detect the errors transmission and correct the errors at receiver.*

Keywords: *Digital information, encoder-decoder, coding scheme, and transmission information.*

Abstrak. *Perkembangan teknologi komunikasi dan informasi saat ini sangat pesat, khususnya dalam teknologi transmisi informasi digital. Proses transmisi informasi digital melalui kanal komunikasi akan mendapat gangguan seperti noise, distorsi, interferensi dan multipath fading. Sehingga informasi yang dikirim kemungkinan akan terjadi kesalahan atau salah deteksi pada penerima, yang menyebabkan penurunan kinerja dari sistem. Penelitian ini mengusulkan suatu desain dan simulasi encoder-decoder berbasis angka sembilan untuk transmisi informasi digital, yang mampu bekerja secara handal dan tepat. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk merancang dan mensimulasikan encoder-decoder berbasis angka Sembilan sebagai skema deteksi dan koreksi kesalahan serta mengurangi bit error rate yang terjadi pada saat proses transmisi informasi digital. Metode penelitian yang digunakan adalah perancangan dan simulasi komputer, dimana prosesnya adalah pemodelan secara matematis, perancangan encoder-decoder, pembuatan simulasi kinerja encoder-decoder berbasis angka sembilan untuk transmisi informasi digital. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa encoder-decoder yang diusulkan dapat mendeteksi kesalahan transmisi dan mengoreksi kesalahan pada penerima.*

Kata Kunci: *Informasi digital, encoder-decoder, pengkodean kanal, transmisi informasi.*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi komunikasi dan informasi saat ini sangat pesat, khususnya dalam teknologi transmisi informasi digital (Proakis and Salehi, 2007). Sistem komunikasi digital dapat diperlakukan sebagai media untuk banyak sistem dan layanan yang berbeda

(Wesolowski, 2009). Secara teknis, informasi merupakan suatu variabel ketidakpastian dari suatu pesan. Penerapan teori informasi telah memungkinkan untuk mengukur dan menghitung ketidakpastian informasi berdasarkan nilai probabilitasnya. Proses penransmisian informasi digital melalui suatu kanal komunikasi akan mendapat gangguan seperti penambahan *noise*, distorsi sinyal informasi, interferensi dan juga *multipath fading* pada kanal nirkabel. Sehingga informasi yang dikirim kemungkinan akan terjadi kesalahan atau salah deteksi pada penerima, yang menyebabkan penurunan kinerja dari sistem. Salah satu teknik untuk mengurangi kesalahan pada saat pengiriman informasi adalah menggunakan pengkodean kanal atau teknik koreksi kesalahan untuk meningkatkan kinerja dari sistem. Dengan perkembangan sistem komunikasi, komputer, dan perangkat audio digital yang menggunakan kode *error-correcting*. Diperkenalkan teori ini dalam pemecahan masalah *coding*. Proses solusi ini menggunakan matematika dan pemahaman tentang bagaimana untuk menemukan teknik matematika dalam memecahkan masalah (Pless, 2011). Kesalahan yang terjadi atau salah deteksi pada saat transmisi informasi tersebut dapat menurunkan kinerja sistem. Untuk itu diperkenalkan teknik koreksi kesalahan (Moon, 2005). Teknik ini sangat ditentukan oleh *encoder-decodernya*. Sehingga eksplorasi ide atau desain *encoder-decoder* dengan metode yang baru tetap penting dan diperlukan.

Pengkodean kanal telah banyak diperkenalkan pada penelitian-penelitian sebelumnya, diantaranya *Hammingcode* yang digunakan untuk mendeteksi dan mengoreksi kesalahan bit tunggal dan *Reed Solomon (RS) code* memperkenalkan teknik *error* dan *erasure correction*. Pada penelitian ini, *encoder-decoder* berbasis angka sembilan digunakan pada pengkodean kanal atau teknik koreksi kesalahan pada sistem transmisi informasi digital. *Encoder-decoder* berbasis angka sembilan telah dilakukan penelitian awal pada model transformasi digital dengan metode *encoder-decoder* perkalian angka sembilan (Yuhanda dan Nasaruddin, 2013), dalam bentuk model transmisi informasi digital. Ide atau penelitian awal tersebut akan dikembangkan lebih lanjut dalam bentuk simulasi *encoder-decoder* dan evaluasi kinerja transmisinya. Untuk itu, penelitian ini akan merancang dan simulasi transmisi informasi digital melalui *encoder-decoder* berbasis angka sembilan. Sejauh ini, perancangan *encoder-decoder* berbasis angka sembilan ini belum pernah diperkenalkan sebagai teknik pendeteksi dan pengkoreksi kesalahan untuk transmisi informasi digital.

2. Tinjauan Pustaka

Relevansi dari skema pengkodean yang diusulkan pada penelitian ini bias masuk dalam kategori keluarga *Hamming code* dan *Reed Solomon*. *Hamming code* banyak diperkenalkan sebagai pengkoreksi kesalahan bit tunggal (*single error correcting code*) (Xiong and Matolak, 2005). Kode *Hamming* merupakan salah satu bentuk kode *Forward Error Correcting (FEC)*. Sistem yang menggunakan kode *Hamming* akan mempunyai kemampuan untuk mendeteksi dan mengoreksi kesalahan 1 bit data yang diterima oleh penerima. Kode *Hamming* dikenal sebagai *parity code*, dimana pada *encoder*-nya, bit-bit informasi (k) ditambahkan dengan bit pariti (r) sebagai suatu *codeword* ($k+r$) yang akan ditransmisikan. Pada sisi penerima dilakukan pengecekan dengan *decoder* yang sama dengan pembangkitan bit pariti. Kode *Hamming* yang umum digunakan dinotasikan dengan kode *Hamming*(n, k), dimana n adalah panjang *codeword* dan k adalah bit-bit informasi. Kode *Hamming* yang populer digunakan adalah kode *Hamming*(7, 4).

Gambar 1 menunjukkan *encoder-decoder* dari kode *Hamming* (7, 4) dan dapat diketahui cara menghitung bit *paritas* (Cotti, 2011) pada transmisi, yaitu:

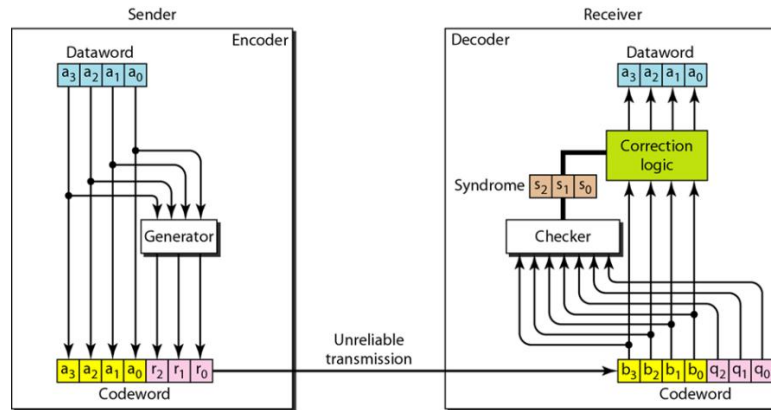
Modul aritmatika generator *encoder*:

$$r_0 = a_2 + a_1 + a_0 \qquad r_1 = a_3 + a_2 + a_1 \qquad r_2 = a_1 + a_0 + a_3$$

Menghitung sindrom pada penerima:

$$s_0 = b_2 + b_1 + b_0 \qquad s_1 = b_3 + b_2 + b_1 \qquad s_2 = b_1 + b_0 + b_3$$

Dari modul aritmatika generator *encoder*, dapat diketahui bahwa generator *encoder* diperoleh dari *data word*. Dimana, untuk r_0 , didapatkan dari penjumlahan $a_2 + a_1 + a_0$. Sedangkan untuk r_1 , didapatkan dari penjumlahan $a_3 + a_2 + a_1$. Begitupula halnya r_2 , didapatkan dari penjumlahan $a_1 + a_0 + a_3$.



Gambar 1. Encoder-Decoder untuk Parity Check Hamming Code

Sedangkan untuk menghitung sindrom, diperoleh dari *codeword*. Dimana, untuk s_0 , didapatkan dari penjumlahan $b_2 + b_1 + b_0$. Sedangkan untuk s_1 , didapatkan dari penjumlahan $b_3 + b_2 + b_1$. Begitupula halnya s_2 , didapatkan dari penjumlahan $b_3 + b_2 + b_1$. Seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Syndrome

Syndrome	000	001	010	011	100	101	110	111
----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

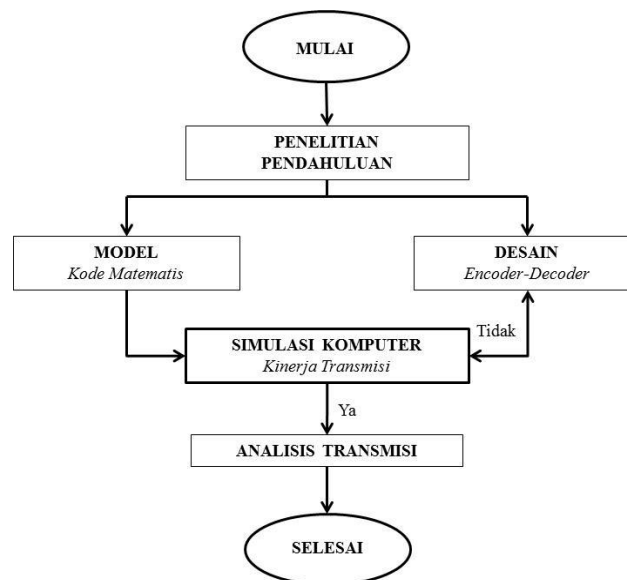
Pada penelitian lain, kode *Reed Solomon code* (Immink, 1994) telah diperkenalkan sejak 1960 oleh David Irving Reed dan Gus Solomon. RS disebut juga kode *linear* (menjumlahkan dua *codeword*), dan *cyclic* (menggeser sebuah *codeword* secara *cyclic*), yang menghasilkan *codeword* yang lain. Pengkodean RS termasuk dalam keluarga *Bose Choundhuri Hocquenghem* (BCH) non-biner. Pada *encoder* RS, sejumlah bit-bit informasi k akan menghasilkan blok kode sebanyak n bit. Sehingga kode RS dapat dinotasikan (n, k) dimana, $n = 2^m - 1$, dengan m adalah jumlah bit pada setiap bit. Kemampuan pendeteksi dan pengkoreksi kesalahan RS adalah $t < n - k$.

Pengkodean kanal yang menggunakan *encoder-decoder* berbasis angka sembilan seperti yang diusulkan pada penelitian ini merupakan hasil pendekatan secara matematis untuk mendapatkan kode-kode biner. Kode yang diusulkan dapat menjadi salah satu kode yang baru dari keluarga kode *Hamming* dan kode *Reed Solomon*. Namun demikian, proses pembangkitan kode dan pengkodean serta pendekodean kode berbasis angka Sembilan berbeda dengan kode-kode tersebut. Kode angka Sembilan dimulai dari pendekatan matematis kemudian dirancang ke dalam model *encoder-decoder* untuk sistem transmisi informasi digital. Usulan ini merupakan salah satu alternative baru untuk *encoder-decoder* pada sistem komunikasi digital. Model rancangan *encoder-decoder* tersebut akan divisualisasikan menggunakan *tool* Microsoft Visual Basic 6.0 Enterprise.

3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah perancangan dan simulasi komputer. Adapun alur penelitian ini adalah seperti pada Gambar 2. Penjelasan masing-masing dari bagian tahapan penelitian adalah sebagai berikut: (1) Penelitian Pendahuluan. Memuat uraian sistematis tentang hasil-hasil penelitian yang diperoleh oleh peneliti terdahulu yang ada hubungannya dengan penelitian yang dilakukan. Sejauh ini, fakta-fakta yang dikemukakan diambil dari sumber aslinya. Sumber yang diperoleh berupa karya ilmiah yang tercantum dalam laporan penelitian, skripsi, tesis, disertasi, jurnal, prosiding, dan hasil *download* dari Internet. (2) Model Kode

Matematis. *Encoder-decoder* dimodelkan dengan pendekatan matematis berdasarkan penurunan variabel-variabel dari persamaan hasil perkalian sembilan. Pada *encoder* ($9 \times i = r_1 r_2$), dimana i merupakan $(1, 2, \dots, 5)$ dan r hasil dua digit dari perkalian sembilan. Begitu pula sebaliknya, pada *decoder* ($9 \times j = s_1 s_2$), dimana j merupakan $(6, 7, \dots, 10)$ dan s hasil dari dua digit perkalian sembilan. Hasil dua digit perkalian sembilan dirubah ke dalam kode biner. (3) Desain *Encoder-Decoder*. Sejumlah bit-bit informasi k , akan menghasilkan blok kode sebanyak n bit. Sehingga *encoder-decoder* dirancang dengan mengacu kepada kode (n, k) . Pada *encoder-decoder*, panjang *codeword* $n = r_1 + k + r_2$, dengan n adalah panjang *codeword*, r_1 adalah panjang kode *redundansi* pertama, k adalah bit informasi, dan r_2 adalah kode *redundansi* kedua. (4) Simulasi Komputer (Kinerja Transmisi). Memvisualisasikan kinerja transmisi informasi digital dengan menggunakan aplikasi Microsoft Visual Basic 6.0 Enterprise. (5) Analisis Transmisi. Analisa transmisi *encoder-decoder* berbasis angka sembilan dimaksudkan untuk mendapatkan data sesuai hasil perhitungan. Sehingga hasil dari perhitungan ini dapat dijadikan acuan dalam pengujian program, yang meliputi perhitungan *encoding*, *decoding*, dan deteksi kesalahan serta analisa dari pengujian yang telah dilakukan.



Gambar 2. Tahapan Penelitian

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1. Model Kode Matematis

Model kode matematis *encoder-decoder* berbasis angka sembilan menggunakan bilangan integer yang terdiri dari $1, 2, \dots, 10$ dan bilangan biner 0 dan 1 . Bilangan integer digunakan untuk variabel persamaan *encoder-decoder*. Sedangkan bilangan biner digunakan untuk pengkonversian bilangan integer, yang digunakan sebagai bit *redundansi* dan bit *sindrom*. Bit *redundansi* dan bit *sindrom* diperoleh dari 2 digit hasil perkalian Sembilan yang telah diubah menjadi bilangan biner.

Sebagai salah satu contohnya adalah $9 \times 1 = 9$ (bilangan integer 9 dikonversikan ke dalam bilangan biner 4 bit. Sehingga didapatkan bilangan binernya 1001. Untuk lebih rinci, dapat dijelaskan sebagaiberikut:

$$\begin{aligned}
 9 &= 1001 \\
 9 &= (1 \times 2^3) + (0 \times 2^2) + (0 \times 2^1) + (1 \times 2^0) \\
 9 &= (1 \times 8) + (0 \times 4) + (0 \times 2) + (1 \times 1) \\
 9 &= 1001
 \end{aligned}$$

Maka, bilangan biner dari 9 adalah 1001. Jika 9 dikonversikan ke dalam bilangan biner dengan 3 bit, maka hasil yang diperoleh tidak sampai 9.

Encoder-decoder tersebut dapat dijabarkan berdasarkan Persamaan sebagai berikut:

1. Encoder

Persamaan 1 digunakan sebagai bit redundansi, dimana d_1 adalah digit pertama dari hasil perkalian sembilan; d_2 adalah digit kedua dari hasil perkalian sembilan; i adalah bilangan integer.

$$9 \times i = d_1 d_2, i = 1, 2, \dots, 5 \tag{1}$$

Sebagai contoh pada $i = 1$ dari Persamaan 1 adalah:

$$\begin{aligned} 9 \times i &= d_1 d_2 \\ 9 \times 1 &= 09 \end{aligned}$$

Hasil perkalian tersebut harus terdiri dari 2 digit, maka untuk $i = 1$ ada perlakuan khusus, dimana d_1 diasumsikan = 0, sehingga diperoleh hasil perkalian sembilan tersebut menjadi 2 digit yaitu $d_1 = 0$ dan $d_2 = 9$. Dari sini, d_1 dan d_2 dikonversikan ke dalam bilangan biner menggunakan *binary* 4 bit yang kemudian dijadikan bit redundansi. Maka didapatkan redundansi pertama $r_1 = 0000$ dan redundansi kedua $r_2 = 1001$. Selanjutnya untuk menentukan nilai redundansi yang lain terhadap i bisa dilakukan dengan Persamaan 1, sesuai yang tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Redudansi Pada Encoder

$9 \times i$	d_1	r_1	d_2	r_2
9×1	0	0000	9	1001
9×2	1	0001	8	1000
9×3	2	0010	7	0111
9×4	3	0011	6	0110
9×5	4	0100	5	0101

2. Decoder

Begitu pula sebaliknya pada *decoder*, Persamaan 2 disebut sebagai sindrom, dimana d_1 adalah digit pertama dari hasil perkalian sembilan; d_2 adalah digit kedua dari hasil perkalian sembilan; j adalah bilangan integer.

$$9 \times j = d_1 d_2, j = 10, 9, \dots, 6 \tag{2}$$

Sebagai contoh pada $j = 1$ dari Persamaan 2 adalah:

$$\begin{aligned} 9 \times j &= d_1 d_2 \\ 9 \times 1 &= 90 \end{aligned}$$

Sama halnya seperti *encoder*, $d_1 d_2$ diperoleh dari 2 digit hasil perkalian Sembilan yaitu $d_1 = 9$ dan $d_2 = 0$. Kemudian, d_1 dan d_2 tersebut dikonversikan ke dalam bilangan biner. Maka didapatkan sindrom pertama $s_1 = 1001$ dan sindrom kedua $s_2 = 0000$. Disini, nilai $j = \{6, 7, \dots, 10\}$ yang dikalikan dengan sembilan. Selanjutnya, untuk menentukan nilai sindrom yang lain terhadap j bisa dilakukan dengan Persamaan 2, sesuai yang tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Sindrom Pada Decoder

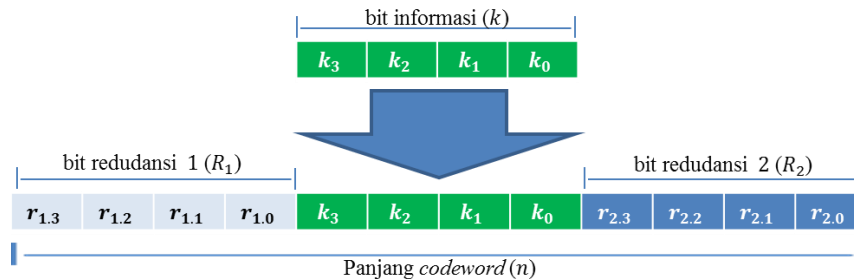
$9 \times j$	d_1	s_1	d_2	s_2
9×10	9	1001	0	0000
9×9	8	1000	1	0001
9×8	7	0111	2	0010
9×7	6	0110	3	0011
9×6	5	0101	4	0100

4.2. Desain Encoder-Decoder

Dari Persamaan 1 dan Persamaan 2, maka dapat di desain suatu *encoder-decoder* diantaranya sebagai berikut:

1. *Encoder*

Seperti terlihat pada Gambar 3, informasi yang dikirimkan si pengirim berupa bit informasi $k = \{k_3, k_2, k_1, k_0\}$. Bit informasi akan dilindungi oleh kode redundansi pertama, $r_1 = \{r_{1.3}, r_{1.2}, r_{1.1}, r_{1.0}\}$, dan kode redundansi kedua, $r_2 = \{r_{2.3}, r_{2.2}, r_{2.1}, r_{2.0}\}$, pada *encoder*.



Gambar 3. Desain Encoder

Panjang keseluruhan dari bit-bit tersebut dinyatakan sebagai panjang *codeword* (n) seperti pada Persamaan 3, dimana n adalah panjang *codeword*; k_{r1} adalah panjang kode redundansi pertama; k adalah panjang bit informasi; k_{r2} adalah panjang kode redundansi kedua.

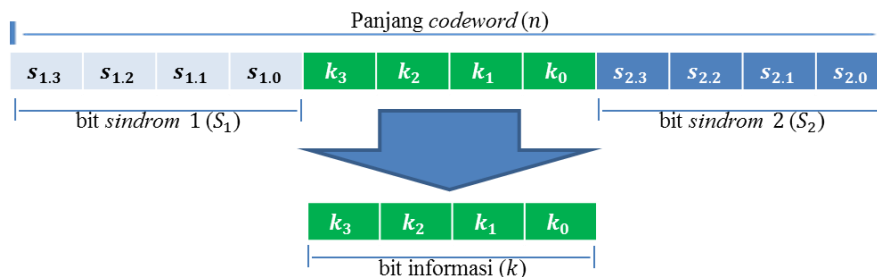
$$n = k_{r1} + k + k_{r2} \tag{3}$$

2. *Decoder*

Begitu pula halnya pada *decoder*, panjang *codeword* (n) yang akan dihasilkan akan dipastikan keberadaan *noise*-nya dengan menggunakan bit *sindrom* pertama $s_1 = \{s_{1.3}, s_{1.2}, s_{1.1}, s_{1.0}\}$, dan bit *sindrom* kedua $s_2 = \{s_{2.3}, s_{2.2}, s_{2.1}, s_{2.0}\}$ pada *decoder*, seperti pada Persamaan 4, dimana n adalah panjang *codeword*; k_{s1} adalah panjang kode *sindrom* pertama; k adalah panjang bit informasi; k_{s2} adalah panjang kode *sindrom* kedua.

$$n = k_{s1} + k + k_{s2} \tag{4}$$

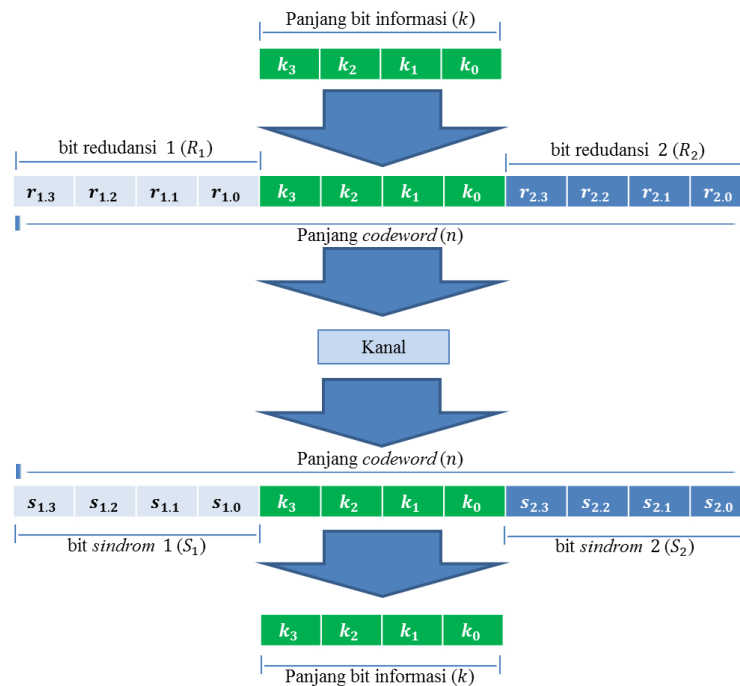
Setelah bit-bit *sindrom* yang diperoleh sesuai dengan bit-bit redundansi, maka bit-bit *sindrom* akan memisahkan bit informasi (k) dan diubah menjadi informasi yang diinginkan oleh si penerima, seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Desain Decoder

3. Proses Transmisi *Encoder-Decoder*.

Proses ini merupakan proses pentransmisi informasi digital yang dikirimkan oleh si pengirim melalui kanal. Proses transmisi *encoder-decoder* tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Desain Encoder-Decoder Berbasis Angka Sembilan

Dapat dijelaskan untuk mengetahui kesalahan informasi yang terjadi, diperlukannya pendeteksian dalam proses pentransmisi dan rangkaian logika untuk koreksi kesalahan dengan menggunakan *encoder-decoder* berbasis angka sembilan. Pengontrol kesalahan ini disebut dengan bit redundansi. Prinsip kerjanya, bit informasi yang dikirimkan ditambah dengan bit redundansi. Selanjutnya, sebelum bit informasi diterima, rangkaian logika (sindrom) akan mengenali posisi bit yang salah dan mengoreksi bit informasi yang diterima. Setelah bit informasi yang di peroleh sesuai dengan yang dikirimkan, maka bit sindrom akan memisahkan bit informasi untuk di ubah menjadi informasi yang diinginkan oleh si penerima.

4.3. Simulasi Encoder-Decoder

Untuk memvisualisasikan simulasi *encoder-decoder* berbasis angka sembilan ini, digunakan *tool* Microsoft Visual Basic 6.0 Enterprise, seperti yang terlihat pada Gambar 6. Prinsip kerja simulasi *encoder-decoder* berbasis angka sembilan adalah sebagai berikut:

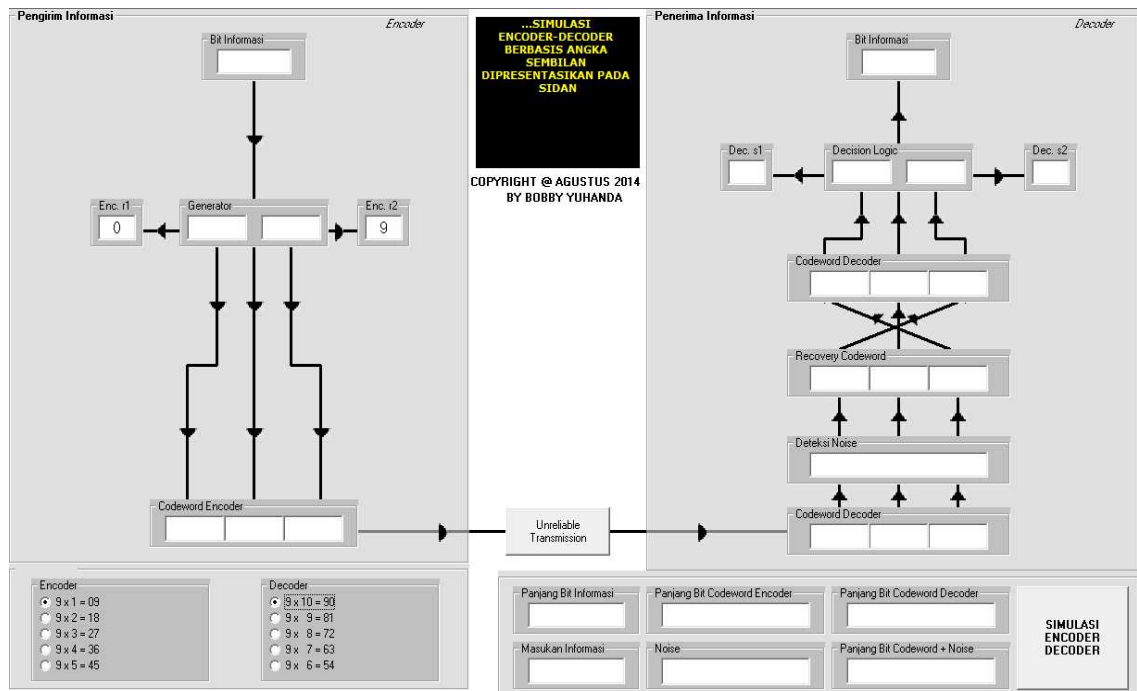
1. Untuk Encoder

Pertama, data (k) di *input* secara manual dalam bentuk bilangan integer (1-15). Selanjutnya data (k) yang masuk diubah kedalam bilangan biner yang terdiri dari empat bit. Kedua, menghitung redundansi yang merupakan hasil dua digit dari perkalian yang dimodelkan menjadi r_1 dan r_2 yang diperoleh dari Persamaan (1). Selanjutnya, r_1 dan r_2 digunakan sebagai *codebook encoder*. Selanjutnya, dibentuk *codeword encoder* dengan cara r_1 ditambahkan dengan k dan ditambahkan dengan r_2 sehingga jumlah bit seluruhnya menjadi sebanyak n bit. Dengan demikian, pola bit yang dihasilkan diberi nama dengan *codeword encoder*. *Codeword* yang terbentuk merupakan *codeword* yang sistematis, yang merupakan *codeword encoder* berbasis angka sembilan.

2. Transmisi

Codeword encoder yang ditransmisikan melalui kanal transmisi mengalami pemangkitan *noise* yang akan mempengaruhi *codeword encoder*. Dimana, *noise* pada kanal transmisi dibangkitkan secara *random* (acak) melalui *noise generator* secara otomatis. Sehingga, *noise* yang dibangkitkan pada kanal transmisi tidak diketahui. Namun demikian, *noise generator* dibatasi hanya membangkitkan *noise* sebanyak 4 bit pada simulasi untuk melihat atau menguji

kesalahan *codeword* yang dikirim melalui *encoder*. Pada sistem yang riil, jumlah bit *noise* memang tidak tertentu tetapi untuk mensimulasikan *noise* generator perlu ditentukan jumlah bit *noise* yang dibangkitkan sebagai proses penyederhanaan sistem transmisi.



Gambar 6. Visualisasi Simulasi *Encoder-Decoder* menggunakan VB Sebelum Dimasukkan Informasi yang akan Ditransmisikan

3. Decoder

Prinsip kerjanya: (a) *Codeword* yang diterima. *Codeword* yang diterima merupakan *codeword* yang sudah dipengaruhi oleh *noise*. (b) *Deteksi Noise*. Mengacu ke konsep sistem komunikasi digital yang paling sederhana, maka secara matematis dapat ditulis sebagai Persamaan 5, dimana $y[n]$ merupakan informasi yang diterima; $s[n]$ merupakan informasi yang dikirim; $e[n]$ merupakan kesalahan yang terjadi. Pendeteksian *noise* $e[n]$ dilakukan dengan cara, informasi yang diterima $y[n]$ dikurangi *codeword encoder* $s[n]$. Sehingga modifikasi Persamaan 5 dapat dituliskan menjadi Persamaan 6. (c) *Recovery* data (memperbaiki kesalahan). *Recovery* data $s[n]$ diperoleh dengan cara merupakan *codeword* yang diterima $y[n]$ dikurangi *nois* $e[n]$. Sehingga dapat dituliskan menjadi Persamaan 7. (d) *Pendekodean*. Selanjutnya, digunakan sindrom s_1 dan s_2 yang diperoleh dari Persamaan 2. s_1 dan s_2 merupakan *codebook decoder*. Dimana, r_1 ditambahkan dengan s_1 dan r_2 ditambahkan dengan s_2 . Jika $r_1 + s_1 = 9$ dan $r_2 + s_2 = 9$, maka informasi yang diterima adalah benar. Akan tetapi jika $r_1 + s_1 \neq 9$ dan $r_2 + s_2 \neq 9$, maka informasi yang diterima adalah salah. Kemudian, hasil $r_1 + s_1 = 9$ dikurangi dengan s_2 dan $r_2 + s_2 = 9$ dikurangi dengan s_1 . Dengan demikian, informasi yang dikirimkan sama dengan informasi yang diterima.

$$y[n] = s[n] - e[n] \tag{5}$$

$$e[n] = y[n] - s[n] \tag{6}$$

$$s[n] = y[n] - e[n] \tag{7}$$

Sebagai salah satu contoh cara kerja dari simulasi transmisi informasi melalui *encoder-decoder* adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Encoder

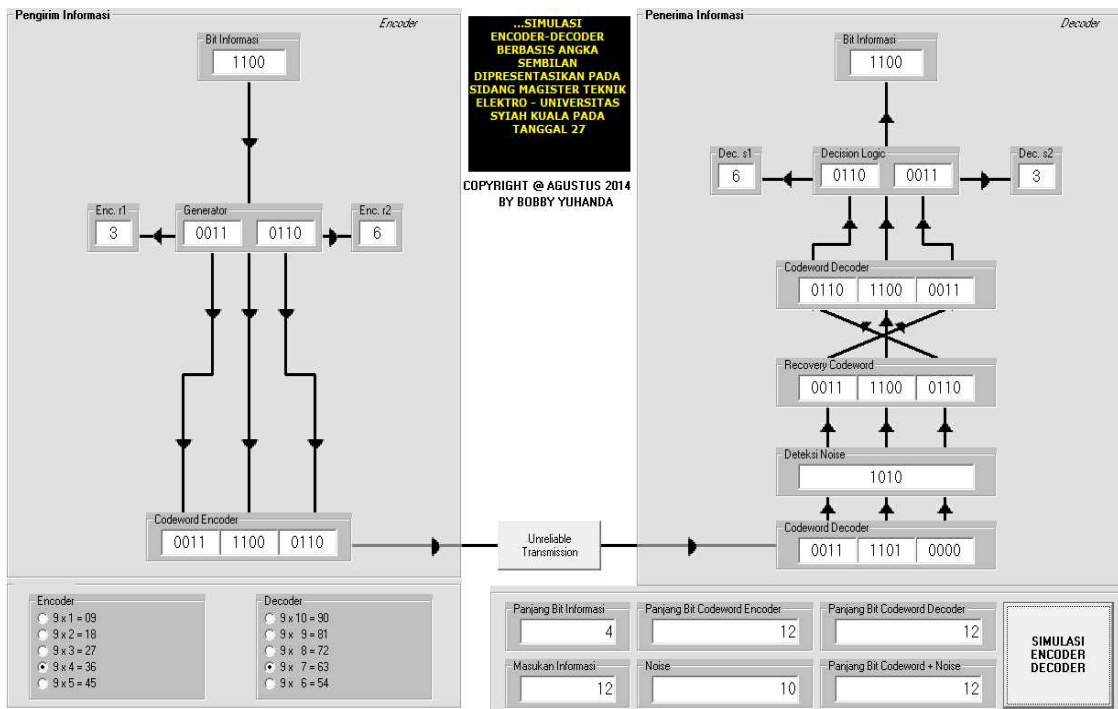
- a. Data Input. Data yang di input secara manual adalah $12 = 1100$.
- b. Redudansi. Redudansi yang digunakan adalah $3 = 0011$ dan $6 = 0110$.
- c. Codeword Encoder. Selanjutnya, $0011 + 1100 + 0110 = 001111000110$ sehingga jumlah bit seluruhnya menjadi 12 bit yang dinyatakan sebagai $s[n]$.

2. Transmisi

Codeword encoder (001111000110) yang ditransmisikan melalui kanal transmisi, menjadi tidak ideal menjadi 001111010000 .

3. Decoder

- a. Codeword yang diterima. Codeword yang diterima merupakan codeword yang sudah dipengaruhi oleh noise yaitu 001111010000 sebagai $y[n]$.
- b. Deteksi Noise. Sebagai contoh dari Persamaan 6 adalah:
 $y[n] = 001111010000$
 $s[n] = 001111000110 -$
 $e[n] = 1010$
- c. Recovery data (memperbaiki kesalahan). Sebagai contoh dari Persamaan 7 adalah:
 $y[n] = 001111010000$
 $e[n] = 1010 -$
 $s[n] = 001111000110$
- d. Pendekodean. Selanjutnya, $0011 + 0110 = 1001$ dan $0110 + 0011 = 1001$, maka informasi yang diterima adalah benar. Kemudian, hasil $1001 - 0011 = 0110$ dan $1001 - 0110 = 0011$. Dengan demikian, informasi yang dikirimkan sama dengan informasi yang diterima yaitu 1100.



Gambar 7. Visualisasi Simulasi Encoder-Decoder menggunakan VB Setelah Dimasukkan Informasi yang akan Ditransmisikan

5. Kesimpulan

Penelitian ini telah merancang *encoder-decoder* berbasis angka sembilan dengan menggunakan pendekatan matematis perkalian sembilan dan menghasilkan kode-kode berbasis angka sembilan pada *encoder-decoder (code book)*. Pendekatan matematis tersebut telah didesain dalam bentuk informasi digital yang akan dikirim oleh *encoder* melalui kanal transmisi dan diterima oleh *decoder*. Kemudian, *encoder-decoder* yang telah dirancang disimulasikan dengan menggunakan *tool* Visual Basic 6.0 Enterprise. Simulasi ini telah didemonstrasikan untuk *input* data pada *encoder* dan telah dilihat pengaruh dari *noise* serta dapat di koreksi kesalahan pada *decoder* dan penerima.

Referensi

- Cotti, A., 2011. *Hamming Code with Parity Check PHP Implementation*, San José State University, Spring.
- Immink, K.A.S., 1994. *Reed–Solomon Codes and the Compact Disc*, in Wicker, Bhargava, S.B., Vijay, K., *Reed–Solomon Codes and Their Applications*, IEEE Press, ISBN 978-0-7803-1025-4.
- Moon, T. K., 2005. *Error Correction Coding*, ISBN 978-0-471-64800-0, New Jersey.
- Pless, V., 2011. *Introduction to the Theory of Error-Correcting Codes, Third Edition*, Wiley-Interscience Series in Discrete Mathematics and Optimization, ISBN: 978-0-471-19047-9.
- Proakis, J., Salehi, M., 2007. *Digital Communications*, McGrawHill Education.
- Wesolowski, K., 2009. *Introduction to Digital Communication System*, Willey.
- Wesolowski, K., 2009. *Introduction to Digital Communication System*, Willey.
- Xiong, W., and Matolak, D.W., 2005. Performance of Hamming Codes in Systems Employing Different Code Symbol Energies, *IEEE Communications Society*, pp. 1055-1058.
- Yuhanda, B., dan Nasaruddin, 2013. Model Transformasi Digital Dengan Metode Encoder-Decoder Perkalian Angka Sembilan, *Seminar Nasional Teknik Elektro (SNETE)*, ISSN: 2088-9984.