

# Analisis dan Desain 4 Bit R3R Lader Digital To Analog Converter CMOS

Suryo Adi Wibowo, Agung Darmawansyah and M. Julius  
Universitas Brawijaya Malang, Pascasarjana Fakultas Teknik, Teknik Elektro,  
Kosentrasi Sistem Kontrol dan Elektronis, e-mail : [norixx\\_adee@yahoo.com](mailto:norixx_adee@yahoo.com)

Abstract - The objective of this research is to design a system and analyze the influence of teknologi CMOS implementation for a data series in the form of digital to analog converter converter using R3R in an IC. So that the IC development of innovation generated by the incorporation of digital systems with maximum performance of the relatively low power dissipation and high speed processing systems as well as a reliable linearity with respect to the parameters in the DAC and the power of this experimental results obtained rendah.dari digital to analog converter with power for 26.761mW.

Keyword-4 Bit, DAC, R3R.CMOS

Abstrak-- Tujuan penelitian ini adalah mendesain sistem dan menganalisis pengaruh implementasi teknologi CMOS untuk rangkaian data Konverter berupa *digital to analog converter dengan* menggunakan metode R3R dalam sebuah IC. Sehingga dihasilkan inovasi pengembangan IC dengan penggabungan sistem digital dengan kinerja maksimal berupa disipasi daya yang relatif rendah dan kecepatan proses sistem yang tinggi serta linearitas yang dapat diandalkan dengan memperhatikan parameter pada DAC serta daya yang rendah.dari hasil percobaan ini diperoleh digital to analog converter dengan daya sebesar 26.761mW

Kata Kunci—4 Bit, DAC, R3R.CMOS

## I. Pendahuluan

Sebuah *digital to analog converter*, atau biasa disebut SDAC, adalah perangkat semikonduktor yang digunakan untuk mengkonversi kode digital menjadi sinyal analog. Konversi digital ke analog merupakan cara utama bagi peralatan digital seperti sistem berbasis komputer yang mampu menterjemahkan data digital menjadi sinyal dunia nyata yang lebih dimengerti atau bisa digunakan oleh manusia Hal ini juga memungkinkan kontrol digital pada mesin, peralatan rumah tangga, dan sejenisnya. Sebuah konverter digital-ke-analog memiliki tipikal output berupa sinyal analog, yang biasanya tegangan atau arus, yang sebanding dengan nilai dari kode digital yang disediakan untuk inputnya. Kebanyakan DAC ini memiliki beberapa pin (pada waktu yang sama). Beberapa DAC dirancang untuk menerima data input digital dalam bentuk serial (satu bit pada satu waktu), sehingga ini hanya memiliki pin input digital tunggal.

Metode R3R dari sebuah pengembangan dari metode R2r yang sudah ada dalam implementasi sebuah data converter yaitu converter dari digital ke analog.dimana perbedaan dari R3R dan R2R adalah perbedaan besarnya

perbandingan antar resistornya dimana pada metode R3R memiliki perbandingan sebesar 3 kali, serta R2R memiliki perbandingan sebesar 2 kali saja dimana diharapkan pada R3R ini memiliki tingkat linearitas dan kecepatan yang lebih baik daripada menggunakan metode R2R.

*Complementary metal oxide semiconductor* (CMOS) atau semikonduktor–oksida–logam komplementer, adalah sebuah jenis utama dari rangkaian terintegrasi. Teknologi CMOS digunakan di mikroprosesor, pengontrol mikro, RAM statis, dan sirkuit logika digital lainnya. Teknologi CMOS juga digunakan dalam banyak sirkuit analog, seperti sensor gambar, pengubah data, dan trimancar terintegrasi untuk berbagai jenis komunikasi. [Frank Wanlass](#) berhasil mematenkan CMOS pada tahun 1967 (US Patent 3,356,858).

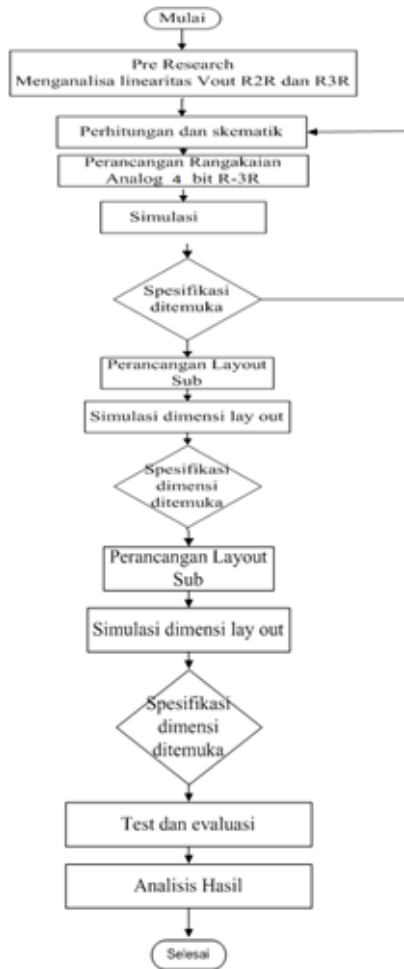
## II. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian digambarkan pada diagram alir dalam gambar 2.1 menjelaskan tahapan metodologi yang akan dilakukan dalam penelitian ini.

Metode penelitian ini meliputi :

- Pre Research
- Perhitungan Skematik
- Perancangan Rangkaian Analog 4 bit R-3R DAC
- Perancangan rangkaian CMOS
- Test dan Evaluasi Sistem Digital to Analog Converter
- Analisa dan Hasil

Proses persiapan dalam penelitian ini dimulai dengan pre research yaitu engkaji penelitian sebelumnya baik itu berupa thesis, jurnal, artikel maupun referensi yang menunjang penelitian ini dan melihat linearitas dari R2R DAC yang pendekatannya mirip dengan arsitektur R3R DAC. Proses selanjutnya dengan menghitung rangkaian skematik agar didapat DAC yang memiliki performa yang bagus. Proses selanjutnya diteruskan dengan mendesain rangkaian analog 4 bit R-3R DAC untuk mendapatkan parameter dan mensimulasikannya. lalu dilanjutkan dengan mendesain rangkaian CMOS serta mensimulasikan dimensi layout tersebut. setelah semua prosedur yang dilakukan telah sesuai maka tahap selanjutnya dengan melakukan test dan evaluasi untuk menentukan hasil yang dikehendaki.



Gambar 1 Diagram alir proses penelitian

### III. Dasar Teori

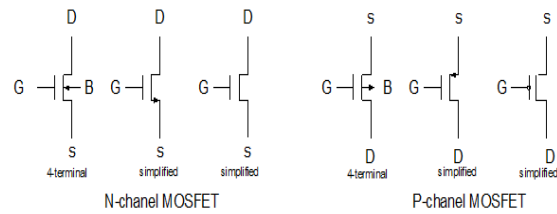
Landasan teori dalam bab ini mengemukakan tentang teori-teori yang terkait dengan solusi permasalahan yang ada dalam penelitian ini. Teori yang dikemukakan terdiri atas transistor MOS dan *Digital to Analog Converter* (DAC)

#### Teknologi MOS

Teknologi MOS (Metal Oxide Semiconductor) merupakan keluarga IC (*Integrated Circuits*) yang di buat dari kombinasi MOSFET pada peningkatan kanal P dan N. Piranti ini memiliki keuntungan khusus dibanding dengan TTL dan DTL. Keistimewaannya adalah:

- Konsumsi daya sangat rendah (sekitar 10 nW/gerbang statis)
- Range tegangan catunya adalah 3 V sampai 18 V)
- Kekebalan desah sangat bagus (45% dari tegangan catu)
- Komponen MOS dapat dibuat lebih kecil

Sedangkan kerugian dari CMOS adalah bahwa impedansi keluarannya tinggi, yang berarti CMOS ini tidak dapat menggerakkan beban kapasitas yang besar dan lebih rawan terhadap derau yang di injeksikan terhadap arus.



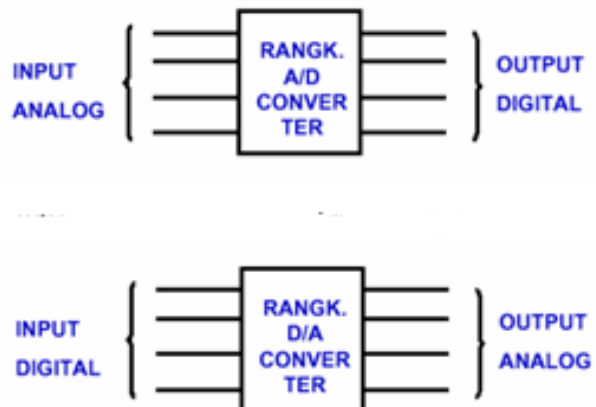
Gambar 2 Komponen MOSFET

Dalam Gambar 2 Sumber (*Source*) adalah terminal yang dilalui pembawa utama (atau mayoritas) ketika memasuki kepingan semikonduktor. Arus konvensional yang memasuki kepingan pada S diberi tanda  $I_S$ . Penguras (*Drain*), Penguras D adalah terminal yang dilalui pembawa utama ketika meninggalkan kepingan. Arus konvensional yang memasuki kepingan pada D diberi tanda  $I_D$ . Tegangan penguras kesumber disebut  $V_{DS}$ , dan bersifat positif jika D lebih positif dari S. Dalam Gambar 2  $V_{DS} = V_{DD} =$  tegangan catu pada penguras.

Gerbang (Gate), merupakan daerah dengan jumlah dopan (p+) yang besar dari ketidakmurnian akseptor yang telah terbentuk pada kedua sisi kepingan tipe-n sebagai hasil proses pencampuran logam, proses difusi, atau proses apapun yang dapat menciptakan persambungan p-n. Antara gerbang dan sumber diberi tegangan  $V_{GS} = -V_{SS}$  yang diatur dalam arah membalik prategangan pada persambungan p-n. Arus konvensional yang memasuki kepingan pada G diberi tanda  $I_G$ . Saluran (channel), merupakan daerah dari bahan tipe-n yang terletak diantara kedua daerah gerbang dan biasanya dilalui pembawa mayoritas dalam gerakannya dari sumber ke penguras.

#### Digital to Analog Converter (DAC)

*Digital to analog converter* merupakan fungsi penting dalam sistem pengolahan data. *Digital to analog converter* (DAC) akan menghubungkan output sinyal digital yang berasal dari prosesor dengan dunia luar yang berupa sinyal analog. Pada masing-masing aplikasi arsitektur DAC akan menghasilkan kecepatan, kepresisian, dan disipasi daya yang berbeda pada masing-masing DAC. Kinerja suatu DAC akan digambarkan pada proses konversi digital ke analog dalam hal ini akan memperhatikan beberapa hal yaitu dalam aspek tegangan, arus, ukuran, performa, serta fungsi switching diperlukan untuk menghasilkan keluaran analog sesuai dengan input digital pada suatu DAC.

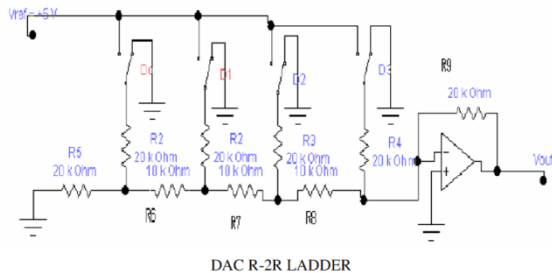


Gambar 3 Blok diagram ADC Dan DAC

Digital to analog converter biasanya terdiri dari 4 bit, 8 bit, 10 bit, 12 bit, bahkan sampai dengan 20 bit. dalam konversi sinyal digital menjadi sinyal analog melalui DAC ini, yang dimaksud dengan bit adalah jumlah masukan input digital yang nantinya akan dikonversikan menjadi output berupa sinyal analog. apabila ada sebuah DAC 4 bit itu menandakan apabila DAC tersebut memiliki 4 masukan sinyal digital dan sebuah keluaran untuk sinyal analognya.

**Jenis R-2R Ladder**

Pada DAC jenis R-2R Ladder pemasangan nilai Resistor pada input-inputnya adalah R2R, jadi kalau Nilai R = 10 kΩ, maka 2R pada rangkaian tersebut akan dipasang 20 kΩ. Pemasangan nilai Resistor yang seperti itu adalah untuk mendapatkan Vout yang linier (kenaikan per stepnya tetap) seperti diilustrasikan dalam Gambar 4.



Gambar 4 DAC R2R LADDER

DAC adalah perangkat untuk mengkonversi sinyal masukan dalam bentuk digital menjadi sinyal keluaran dalam bentuk analog (tegangan). Tegangan keluaran yang dihasilkan DAC sebanding dengan nilai digital yang masuk ke dalam DAC.

Tegangan keluaran rangkaian DAC dapat dirumuskan ditunjukkan dalam Persamaan 1 dan 2.

$$v_0 = -R_f \left( \frac{b_1 v_{ref}}{R} + \frac{b_2 v_{ref}}{2R} + \frac{b_3 v_{ref}}{4R} + \frac{b_N v_{ref}}{2^{N-1}R} \right) \quad (1)$$

$$= -2 \frac{R_f}{R} v_{ref} \left( \frac{b_1}{2} + \frac{b_2}{4} + \frac{b_3}{8} + \dots \frac{b_N}{2^N} \right) \quad (2)$$

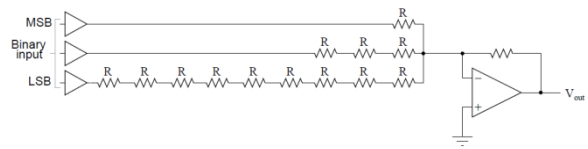
Dengan  $b_1$  sebagai MSB,  $b_N$  sebagai LSB, dan  $V_{REF}$  adalah tegangan sinyal digital.

Dan untuk tegangan Vout perstepnya dapat dihitung menggunakan Persaman 3 sebagai berikut:

$$V_{OUT \text{ bit } b_{1..n}} = -2 V_{REF} \times \left( \frac{b_n}{2^n \text{ max}} \right) \quad (3)$$

**IV. Perancangan Desain R3R DAC (Digital to Analog Converter)**

Pada DAC jenis R3R Ladder pemasangan nilai Resistor pada input-inputnya adalah R3R, jika Nilai R = 10Ω, maka 3R nya dipasang 30Ω. Pemasangan nilai Resistor yang seperti ini diharapkan mendapatkan Vout yang lebih linier pada kenaikan per stepnya dibandingkan dengan R2R seperti ditunjukkan dalam Gambar 5



Gambar 5. Digital to Analog Converter jenis R3R lader

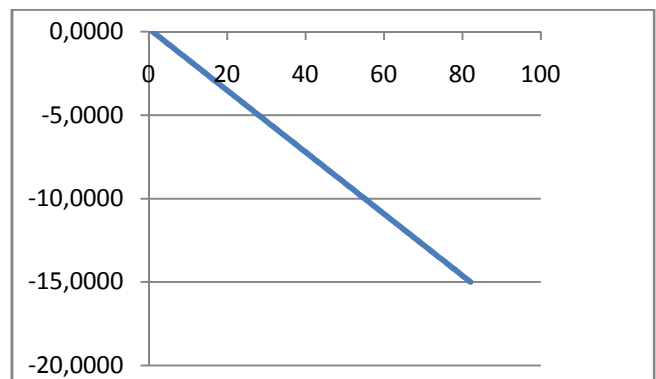
Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa rangkaian DAC jenis R3R memiliki kelipatan resistor sebesar 3 kali yang menjadikannya berbeda dari rangkaian R2R lader DAC. Tegangan keluaran rangkaian DAC dalam Gambar 5 dapat ditunjukkan dalam Persamaan 4.

$$v_0 = -R_f \left( \frac{b_1 v_{ref}}{R} + \frac{b_2 v_{ref}}{3R} + \frac{b_3 v_{ref}}{9R} + \frac{b_N v_{ref}}{3^{N-1}R} \right) \\ = -3 \frac{R_f}{R} v_{ref} \left( \frac{b_1}{3} + \frac{b_2}{9} + \frac{b_3}{27} + \dots \frac{b_N}{3^N} \right) \quad (4)$$

Dengan  $b_1$  sebagai MSB,  $b_N$  sebagai LSN, dan  $V_{REF}$  adalah tegangan sinyal digital. dan untuk tegangan Vout perstepnya dapat dihitung menggunakan Persaman 5. berikut:

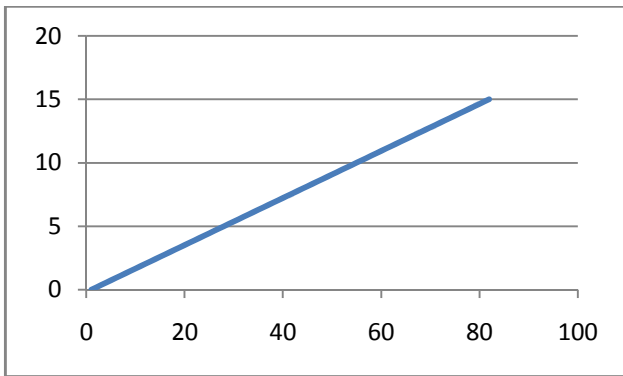
$$V_{OUT \text{ bit } b_{1..n}} = -3 V_{REF} \times \left( \frac{b_n}{3^n \text{ max}} \right) \quad (5)$$

Grafik kelinearitas Vout R3R dapat dilihat dalam Gambar Grafik sebagai berikut :



Gambar 6. Grafik Kelinearitas Vout R3R

Grafik kelinearitas Vout R3R yang ditambahkan rangkaian invertng dapat dilihat dari gambar Grafik 2.4 berikut:



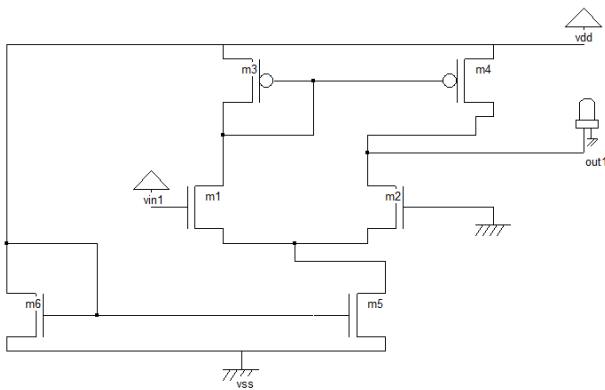
Gambar 7. Grafik kelinearitasan  $V_{out}$  R3R yang ditambahkan rangkaian inverting

### V. Perancangan Rangkaian Differensial Amplifier Menggunakan Software.

Dalam sebuah *digital to analog converter* memiliki 2 jenis komponen sebagai penunjang kinerja sebuah digital to analog converter yaitu:

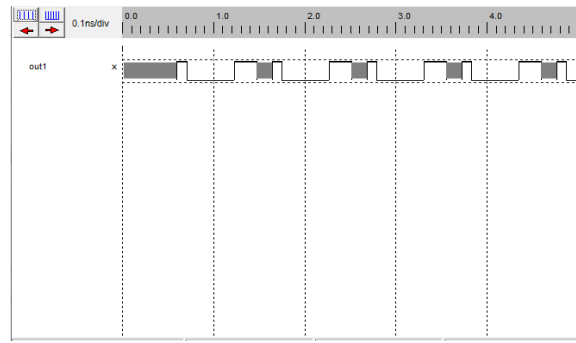
1. Komponen aktif
2. Komponen pasif

Untuk sebuah komponen aktifnya diwakili oleh sebuah operational amplifier yang berfungsi sebagai penguat beda (differential amplifier) dengan impedansi input tinggi dan output impedansi rendah. Op amp banyak digunakan untuk pengubah tegangan (amplitudo dan polaritas), osilator, filter dan rangkaian instrumentasi. Op amp terdiri dari differential amplifier untuk mendapatkan penguatan tegangan yang besar



Gambar 8. Rangkaian Op-Amp

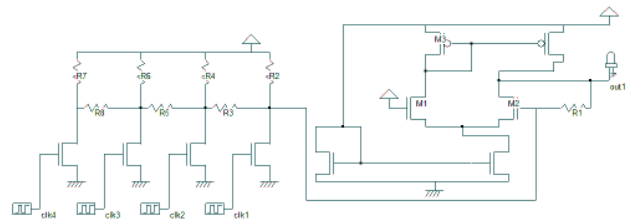
Dengan menggunakan software simulasi untuk mengetahui kinerja dari rangkaian komponen aktif tersebut didapat hasil keluaran sebagai berikut :



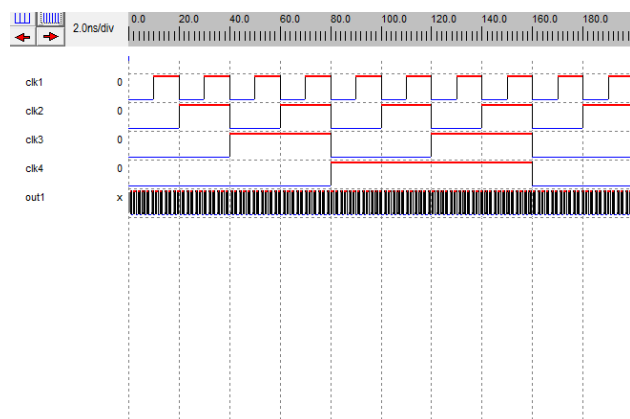
Gambar 9. Hasil Simulasi Op-Amp

### VI. Perancangan R3R

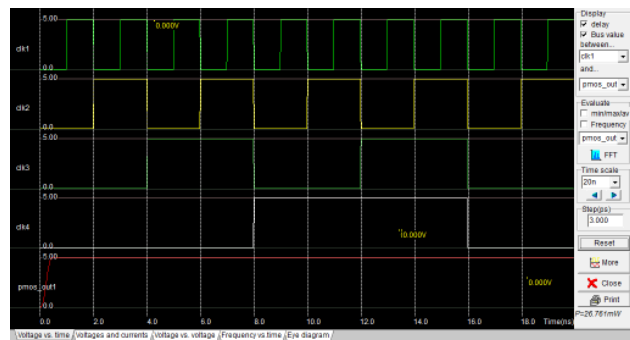
Dari gambar rangkaian r3r maka bisa digunakan software simulasi untuk mengetahui kinerja suatu digital to analog converter yang menggunakan metode r3r sebagai pengembangan dari suatu pendekatan yang menggunakan metode r2r.



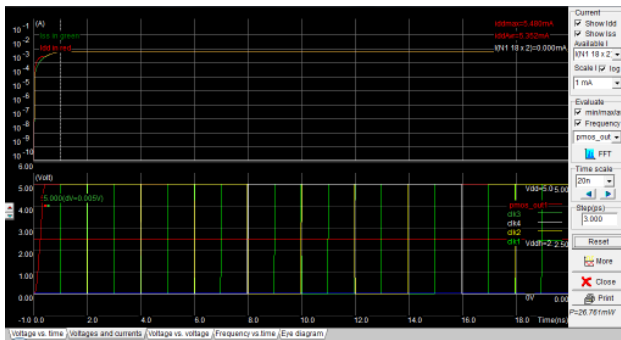
Gambar 10. Rangkaian R3R



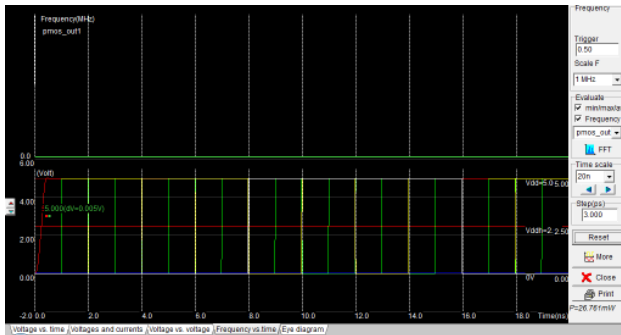
Gambar 11. Hasil Simulasi Rangkaian R3R 4 Bit



Gambar 12. Hasil Simulasi Tegangan dan Waktu



Gambar 13 Hasil Simulasi Tegangan dan Arus



Gambar 14 Hasil Simulasi Frekuensi

## VII. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan simulasi yang masih berjalan hingga saat ini, dapat dinyatakan bahwa R3R DAC memiliki daya sebesar 26,761 mW. Layout yang digunakan berukuran 3 $\mu$ m pada tegangan VDD sebesar 5 Volt. R3R memiliki waktu konversi yang baik serta linearitas yang lebih kecil dari R2R.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Baker, J.R. 2010. *CMOS Circuit design Layout and Simulations. Third Edition. Jhon Wiley and Sons, INC. Canada.*
- [2] Razavi, B. 1995. *Principles of Data Conversion System Design. Third Edition, Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York*
- [3] Plassche, R.V.d 1997. *CMOS Integrated Analog to Digital and Digital to Analog. Second edition, Broadcom Netherlands BV, The Netherlands and Broadcom, Irvine, CA, U.S.A*
- [4] Wikner, J.J. 2001. *Studies on CMOS digital to analog converters. Department of Electrical Engineering Linköpings universitet. Sweden*
- [5] Jaeger, R. 1997. *Microelectronic Circuit Design. Auburn University. The McGraw-Hill Companies, Inc. USA.*
- [6] Stefanie, A. 2009. *Perancangan IC 3 to 8 Decoder dengan Menggunakan Teknologi HCMOS (High Speed Complementary Metal Oxide Semiconductor). Universitas Brawijaya. Malang.*
- [7] Yuan Cui Zhi, Lan Piao Hua, and Soo Kim Nam. 2009. *A 10-bit Current-steering DAC in 0.35- $\mu$ m CMOS Process. Department of Semiconductor*

*Engineering, Chungbuk National University, 12 Gaeshin-dong, Heungduk-gu, Chungbuk 361-763, Republic of Korea*

- [8] Sai Toru and Sugimoto Yasuhiro. 2009. *A 14-bit MOS DAC with Current Sources free from Power-Line Voltage Drop and with Output Circuits free from Code-dependent Variable Time Constant. Department of Electrical, Electronic, and Communication Engineering, Chuo University. 1-13-27, Kasuga, Bunkyo-ku, 112-8551, Tokyo, Japan*
- [9] Bastos, J. Marques, A. M, Steyaert, M. S. J. and Sansen, Willy. 1998. *A 12-Bit Intrinsic Accuracy High-Speed CMOS DAC. IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. 33.*
- [10] Perry, J.C. 2005. *Digital to Analog Converter Design using Single Electron Transistors. Virginia Polytechnic Institute and State University. VA. USA*
- [11] Anonymous. [http://www.opamp-electronics.com/tutorials/digital\\_theory\\_ch\\_013.htm](http://www.opamp-electronics.com/tutorials/digital_theory_ch_013.htm). diakses tanggal 3 desember 2011
- [12] Anonymous. <http://www.maximic.com/design/techdocs/tutorials/index.mvp/id/2/c/A-D%20and%20D-20Conversion-Sampling%20Circuits#c2>. diakses tanggal 3 desember 2011