

PERANCANGAN INVERTER SEBAGAI SWITCH MOS PADA IC DAC

Veronica Ernita K.¹⁾, Erma Triawati Ch²⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Elektro Universitas Gunadarma

Jl. Margonda Raya No. 100, Depok – 16424, Jawa Barat, Indonesia

e-mail : {veronica.ermach}@staff.gunadarma.ac.id

Abstrak

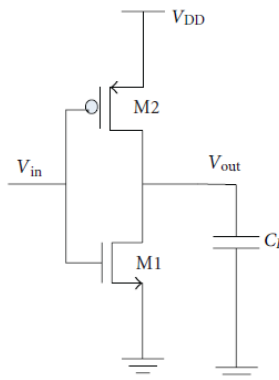
Switch atau inverter berfungsi sebagai saklar pada DAC (Digital to Analog Converter). Switch yang dirancang dengan menghubungkan dua transistor yaitu satu transistor NMOS dan satu transistor PMOS. Kedua transistor tersebut dihubungkan menjadi sebuah inverter. Metode ini disebut sebagai MOS Switch. Switch ini digunakan pada DAC 8-bit sebagai pengontrol input biner yaitu '1' dan '0'. Proses perancangan diawali dengan mencari referensi agar dapat menentukan spesifikasi dari rangkaian yang akan dirancang, setelah skematik selesai dirancang kemudian skematik diintegrasikan menjadi simbol. Penggunaan simbol dimaksudkan agar mudah dan praktis untuk melakukan pengelasan guna mengetahui hasil yang diharapkan. Tahap selanjutnya adalah pembuatan layout, tahapan ini dilakukan agar dapat diaplikasikan ke dalam floorplan. Pada tahapan desain skematik, dari simbol, sampai dengan layout digunakan alat bantu perangkat lunak mentor graphics dengan teknologi AMS 0,35 μm . Setiap teknologi yang digunakan dalam perancangan memiliki parameter yang berbeda-beda sebagai dasar melakukan perhitungan untuk mendapatkan hasil yang diharapkan. Untuk teknologi 0.35 μm , standar W (Width) dan L (Large) yang digunakan adalah 0.4 μm untuk W dan 0.35 μm untuk L, dan standar tegangan 3.3 V. Output dari karakteristik MOS Switch menunjukkan kondisi saturasi $V_{DD}/2$ yaitu 1.65 V, dengan V_{DD} 3.3 V.

Kata Kunci : MOS Switch, DAC, NMOS, PMOS, Inverter.

1. PENDAHULUAN

Konversi data dalam perkembangan di bidang elektronika yang biasa dikenal sebagai konverter untuk interface sinyal digunakan dibanyak aplikasi. Konverter data atau konversi data terdiri dari, ADC (Analog to Digital Converter) dan DAC (Digital to Analog Converter). Banyak metode dan komponen pendukung dalam merancang keduanya, ADC dan DAC. Salah satunya adalah switch atau saklar. Switch termasuk dalam salah satu komponen pada konverter data karena seperti prinsip dasar konverter yaitu mengubah dari low (rendah) ke high (tinggi) atau mengubah data dari 0 ke 1 dan sebaliknya. Switch sendiri memiliki banyak model, skema, dan metode. Membangun switch dalam suatu rangkaian terpadu (Integrated Circuit, IC), juga menjadi suatu pekerjaan yang penting, karena konverter atau konversi data dapat berjalan baik dan lancar jika seluruh komponen dapat berjalan dengan baik. Penentuan metode atau skema switch tergantung pada kebutuhan.

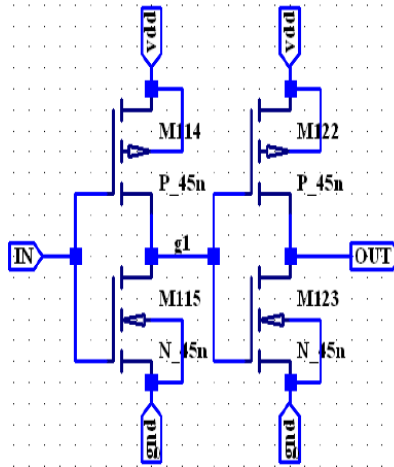
Pada (Mukhopadhyay & Pandit, 2012) merancang inverter menggunakan jaringan syaraf tiruan (ANN- Artificial Neural Network) dan algoritma partikel swarm optimasi sehingga karakteristik switching dari rangkaian tersebut adalah simetris, yaitu, memiliki kesamaan pada waktu naik dan turun dan output propagasi delay sama dari tinggi ke rendah dan dari rendah ke tinggi. Lebar saluran transistor dan nilai beban kapasitor diambil sebagai parameter desain.



Gambar 1. CMOS Inverter (Mukhopadhyay & Pandit, 2012)

Konstruksi ANN tertanam didalam algoritma partikel swarm optimasi (PSO). Ini karena untuk menentukan lebar transistor dan output nilai kapasitor load sehingga perbedaan output rise (naik) dan fall (turun) dapat diminimalisir, begitu juga perbedaan output propagasi delay tinggi ke rendah dan rendah ke tinggi dapat diminimalisir.

Dalam (Sunaniya & Khare, 2013) switch dirancang dengan menggunakan metode SIS (Switched Inverter Scheme) dengan menambahkan resistor sebagai tegangan refensinya. Metode ini merancang switch dengan transistor 2 NMOS dan 2 PMOS disusun sebagai inverter, sehingga membentuk 2 inverter. Output dari inverter pertama dihubungkan dengan input inverter kedua seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



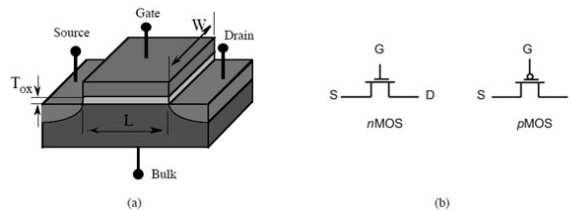
Gambar 2. SIS Komparator (Sunaniya & Khare, 2013)

Kedua metode tersebut memiliki prinsip yang sama yaitu inverter sebagai switch. Pemilihan transistor sebagai bahan pembuat switch karena transistor memiliki keuntungan dalam hal energi. Penggunaan daya statik yang rendah membuat transistor diklaim hemat energi. Keuntungan lain yang dimiliki transistor adalah luas area kecil karena ukuran transistor dalam mikro, hal ini akan mempengaruhi pada biaya produksi yang rendah. Pada penelitian ini, switch dirancang dengan 1 NMOS dan 1 PMOS. Yang membedakan dengan penelitian sebelumnya, switch tidak menggunakan kapasitor load dan tidak menggunakan resistor. Penggunaan kapasitor dan resistor dalam pembuatan chip membutuhkan area yang cukup luas dalam proses pembuatan layout. Tahapan yang dilakukan dalam merancang switch yaitu pertama-tama mencari referensi yang sesuai dan mendukung pembuatan switch. Kemudian switch dirancang dalam bentuk skematik dan disimulasikan. Skematik yang telah selesai dirancang kemudian diintegrasikan menjadi sebuah simbol. Pembuatan simbol dimaksudkan untuk menyederhanakan rangkaian DAC dalam simulasi, karena DAC terdiri dari tiga komponen utama yaitu switch, R2R ladder, dan Op-Amp. Setelah hasil simulasi didapatkan dan telah sesuai dengan yang diinginkan, dilakukan pembuatan layout dari skematik switch tersebut. Dari layout ini yang kemudian akan dibentuk ke dalam IC yang untuk selanjutnya dibuat chip. Switch dalam penelitian ini telah digunakan pada DAC 8-bit. Rancangan switch MOS ini menggunakan alat bantu (tools) mentor graphics dengan teknologi AMS 0.35 μm .

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Prinsip Dasar Kerja MOS Switch

Dua jenis transistor utama adalah Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET), dan Bipolar Junction Transistor (BJT). Sirkuit terpadu digital hampir secara eksklusif menggunakan MOSFET sementara BJT memiliki aplikasi dalam elektronik analog. Transistor berbeda dari resistor pasif, kapasitor, induktor, dan elemen dioda, pada transistor MOSFET arus keluaran dan karakteristik tegangan bervariasi dengan tegangan pada terminal kontrol. Transistor memiliki tiga terminal yang bersangkutan dengan transmisi sinyal sedangkan elemen pasif memiliki dua terminal (Hawkins & Segura, 2005).



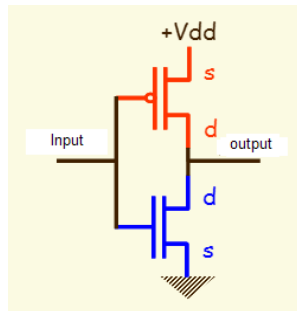
Gambar 3. (a) Struktur MOS (b) Simbol Transistor nMOS dan pMOS (Hawkins & Segura, 2005)

B. MOSFET sebagai Switch Digital

Sebuah deskripsi sederhana memperlakukan transistor MOSFET sebagai switch. Ketika gerbang memiliki tegangan tinggi, transistor menutup seperti saklar dinding, terminal drain dan source terhubung secara

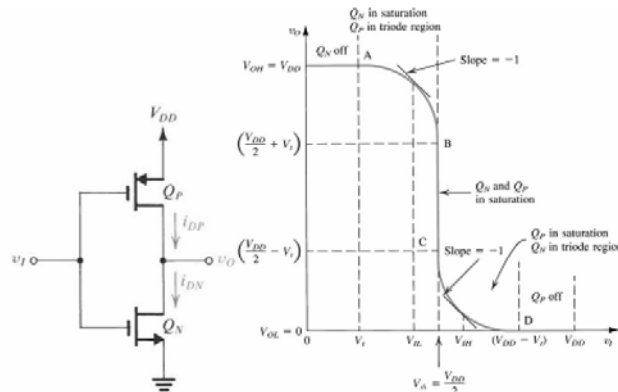
elektrik. Sama seperti tombol lampu membutuhkan kekuatan tertentu untuk mengaktifkan, terminal gate transistor membutuhkan level tegangan tertentu untuk beralih dan menghubungkan terminal drain dan source. Tegangan ini disebut tegangan threshold transistor V_t dan tegangan tetap untuk perangkat NMOS dan PMOS dalam proses fabrikasi yang diberikan (Hawkins & Segura, 2005).

Switch yang digunakan dalam desain ini adalah MOS Switch yang menggunakan dua transistor dari satu jenis transistor P dan satu jenis transistor N, dan kemudian dirancang sebagai rangkaian inverter. Setiap transistor yang telah disusun dalam rangkaian inverter bekerja sebagai switch, di mana sistem kerja akan berada dalam kondisi tertutup atau kondisi terbuka. Jika input rangkaian diberi 0, sehingga transistor tipe N dalam kondisi terbuka dan transistor tipe P dalam kondisi tertutup sehingga tegangan VDD akan melewati jenis transistor P dan nilai output adalah 1. Dalam kondisi lain, jika input rangkaian diberi nilai 1, sehingga transistor tipe P dalam kondisi terbuka dan transistor tipe N dalam kondisi tertutup. Jadi tegangan dari Ground akan melewati transistor tipe N dan nilai output rangkaian adalah 0 (Wibowo, 2005).



Gambar 4. Rangkaian Inverter dari CMOS (Wibowo, 2005)

Untuk memperlakukan CMOS supaya bekerja sebagai switch, kita harus mengubah-ubah daerah kerjanya antara cut-off dan saturasi (Putra).



Gambar 5. Karakteristik CMOS sebagai Switch (Putra)

Ketika switch NMOS ditutup yaitu ketika bernilai 1, maka arus drain di switch NMOS diberikan oleh persamaan 1.

$$I_D = \frac{K_n}{2} \frac{W}{2L} (V_M + V_{THn})^2 \dots\dots\dots (1)$$

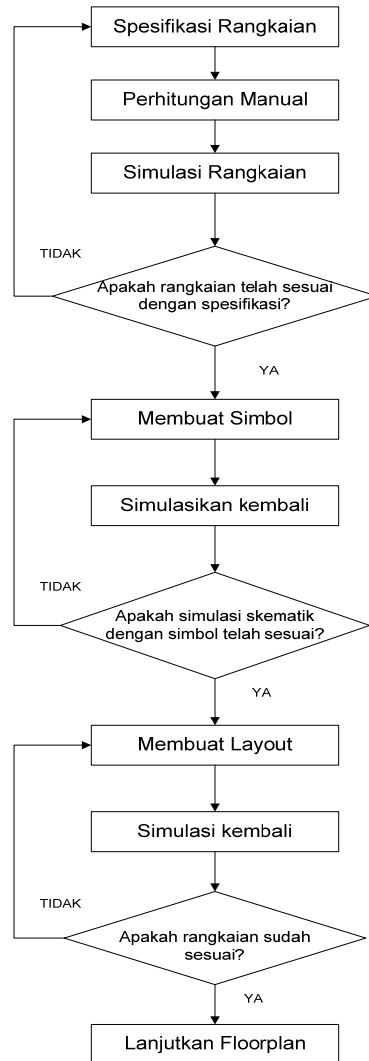
Ketika switch PMOS ditutup yaitu ketika bernilai 1, maka arus drain di switch PMOS diberikan oleh persamaan 2.

$$I_D = \frac{K_p}{2} \frac{W}{2L} (V_M + V_{THp})^2 \dots\dots\dots (2)$$

Dimana K_n dan K_p adalah konstanta dari transistor tipe N dan tipe P yang masing-masing nilainya sudah ditentukan rangenya. V_{sp} atau V_M adalah nilai saturasi antara transistor tipe N dan tipe P. V_{TH} adalah tegangan threshold. W dan L adalah ukuran dari masing-masing transistor.

3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan dalam flowchart berikut ini



Gambar 6. Flowchart Perancangan Switch

Hal yang pertama dilakukan adalah mendefinisikan input dan output rangkaian (spesifikasi rangkaian). Jika sudah didapatkan spesifikasi yang diinginkan, dilakukan perhitungan manual terhadap masing-masing komponen yang dari rangkaian untuk mendapatkan nilai komponen yang sesuai. Kemudian dilakukan simulasi terhadap rangkaian tersebut setelah mendapatkan nilai masing-masing komponen dari perhitungan manual. Apakah hasil simulasi telah sesuai dengan yang diinginkan? Jika "YA" proses dilanjutkan ke proses membuat simbol, jika "TIDAK" maka ulangi kembali dari proses pertama. Jika "YA" maka skematik diintegrasikan ke dalam sebuah simbol dan lakukan simulasi lagi terhadap simbol tersebut, dan jika simulasi terhadap simbol telah sesuai selanjutnya dilakukan proses pembuatan layout. Sebaliknya jika belum sesuai maka ulangi kembali proses pembuatan simbol. Pembuatan layout adalah proses untuk mengaplikasikan rangkaian atau skematik ke dalam bentuk IC atau CHIP. Untuk dapat menentukan apakah layout sudah sesuai atau belum adalah lakukan simulasi dan pencocokan dengan skematik. Jika layout dan skematik telah cocok (match) maka layout dari rangkaian sudah bisa diintegrasikan ke dalam floorplan untuk kemudian dijadikan chip.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

MOS Switch dibuat dengan satu transistor NMOS dan satu transistor PMOS. Menentukan nilai masing-masing transistor digunakan rumus yang tertera pada sub pembahasan tinjauan pustaka. Dengan menggunakan standar tegangan yang dimiliki teknologi AMS 0.35 μm yaitu 3.3 V, didapatkan

$$V_{sp} = V_M = \frac{V_{DD}}{2} = 1.65V$$

Dengan $P = 1 \text{ mW}$, maka

$$I = \frac{P}{V_{DD}} = \frac{1 \times 10^{-3}}{3.3} = 303 \mu A$$

Untuk teknologi 0.35 μm , tegangan threshold untuk tipe-N (V_{THn}) adalah 0.40 V s/d 0.64 V dan untuk tipe-P (V_{THp}) adalah -0.53 V s/d 0.77 V. Variabel konstanta untuk tipe-N (K_n) 155 $\mu\text{A/V}$ – 195 $\mu\text{A/V}$ dan untuk tipe-P (K_p) 50 $\mu\text{A/V}$ – 70 $\mu\text{A/V}$. Dengan melakukan perhitungan memakai parameter tersebut di atas maka didapatkan nilai W (Width) dan L (Large) pada PMOS dan NMOS sebagai berikut.

- PMOS

$$I_D = \frac{K_p}{2} \frac{W}{2L} (V_M + V_{THp})^2$$

$$303 \mu = \frac{K_p}{2} \frac{W}{2L} (V_M + V_{THp})^2$$

$$\frac{W}{L} = 3.8$$

$$L_p = 0.35 \mu\text{m} ; W_p = 1.3 \mu\text{m}$$

- NMOS

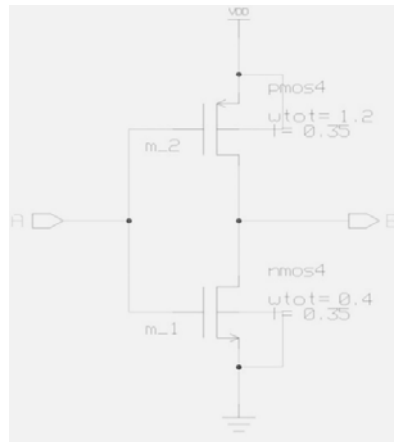
$$I_D = \frac{K_n}{2} \frac{W}{2L} (V_M + V_{THn})^2$$

$$303 \mu = \frac{K_n}{2} \frac{W}{2L} (V_M + V_{THn})^2$$

$$\frac{W}{L} = 1.5$$

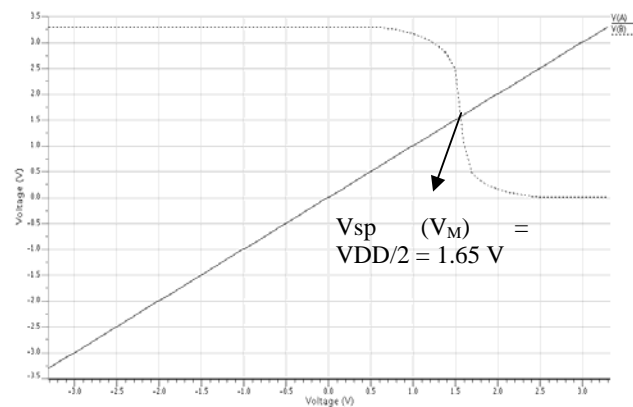
$$L_p = 0.35 \mu\text{m} ; W_p = 0.5 \mu\text{m}$$

Nilai W dan L yang dihasilkan kemudian di masukkan ke dalam komponen NMOS dan PMOS yang selanjutnya disimulasikan. Hasil simulasi berdasarkan perhitungan terkadang hasilnya tidak seperti yang diharapkan. Oleh karena itu, dilakukan percobaan-percobaan untuk perubahan nilai W dan L hingga didapatkan hasil yang diinginkan. Perubahan nilai W dan L pada masing-masing transistor dilakukan dengan perkiraan yang berdasarkan pada hasil perhitungan manual. Pada penelitian ini, nilai W dan L yang menghasilkan output sesuai karakteristik adalah dengan memberikan W 1.2 μm dan L 0.35 μm . Pengambilan nilai tersebut berdasarkan pada "trial and error".



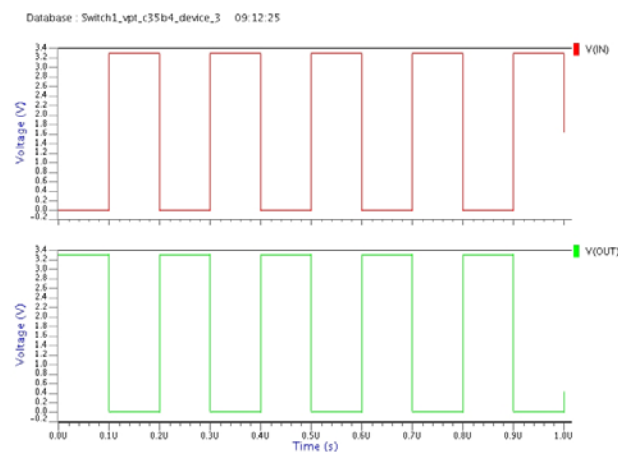
Gambar 7. MOS Switch

Nilai W dan L yang didapatkan untuk masing-masing transistor NMOS dan PMOS dalam penelitian ini untuk mendapatkan karakteristik dari switch. Dimana switch menunjukkan sifatnya yaitu berada pada keadaan saturasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 7 berada pada tegangan 1.65 V.



Gambar 8. Karakteristik MOS Switch berdasarkan Hasil Simulasi

Sebagaimana kerja switch yang hanya membaca input bilangan biner yaitu '1' dan '0', maka hasil simulasi switch ketika diberikan input '1' dan '0' adalah sebagai berikut



Gambar 9. Output MOS Switch

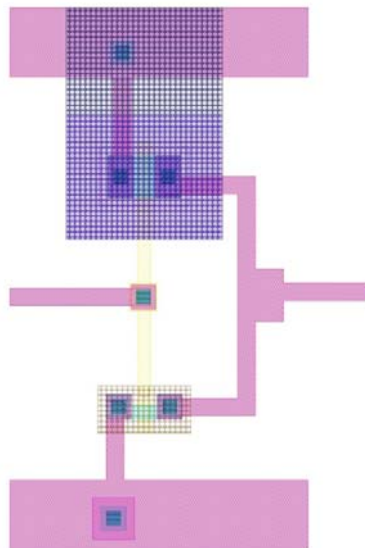
Berdasarkan hasil tersebut, switch ini bekerja sebagaimana mestinya yaitu saat diberi input '0' maka outputnya adalah '1', dan sebaliknya saat diberi input '1' maka outputnya adalah '0'. Bilangan biner '0' dan '1' ini menunjukkan suatu kondisi, '0' untuk kondisi OFF dan '1' untuk kondisi ON.

Setelah hasil simulasi skematik selesai dan hasil telah sesuai dengan yang diinginkan, kemudian rangkaian diintegrasikan kedalam sebuah simbol. Pengintegrasian simbol dilakukan untuk mempermudah dan mengefisienkan luas area saat dilakukan simulasi untuk rancangan keseluruhan.



Gambar 10. Simbol dari skematik Switch MOS

Sesuai dengan metode yang digunakan, saat skematik selesai dirancang dan hasil simulasi telah sesuai dengan yang diinginkan, skematik diintegrasikan menjadi simbol dan disimulasikan, langkah selanjutnya adalah pembuatan layout. Layout dalam mentor graphics dibutuhkan untuk kebutuhan fabrikasi. Layout dari skematik switch dirancang sedemikian rupa mengikuti skematinya, lalu disimulasikan untuk mengetahui error dan kecocokan dengan skematik switch. Layout dari switch ini hasil simulasi menunjukkan sudah tidak terdapat error, artinya rancangan switch ini sudah siap untuk digunakan dan diaplikasikan ke dalam floorplan untuk kemudian hari dilakukan fabrikasi. MOS switch dalam penelitian ini telah berhasil digunakan pada rancangan DAC 8-bit.



Gambar 11. Layout MOS Switch

5. KESIMPULAN

Dengan metode yang digunakan dalam merancang switch MOS ini, dapat disimpulkan bahwa:

- Switch MOS yang dirancang dengan NMOS dan PMOS, nilai W yang digunakan adalah $1.2 \mu\text{m}$ dan L adalah $0.35 \mu\text{m}$.
- Output switch untuk karakteristik switch adalah dalam keadaan saturasi pada tegangan 1.65 V . Tegangan saturasi ini dapat ditentukan secara perhitungan manual dengan $V_{DD}/2$. Dengan V_{DD} yang digunakan adalah 3.3 V , dan keadaan saturasi berdasarkan perhitungan adalah 1.65 V . Maka dengan nilai W/L yang cocok diberikan adalah $1.2/0.35 \mu\text{m}$.
- Rancangan switch yang berperan sebagai input dalam DAC yang memiliki input bilangan biner yaitu '1' dan '0', bekerja seperti inverter dalam arti jika diberi input '1' atau ON maka output adalah '0' atau OFF, begitu juga sebaliknya.

DAFTAR PUSTAKA

- Hawkins, C., Segura, J., 2005, MOSFET Transistor
- Kristianti, V. Ernita, 2012, *A 8-bit DAC Design in AMS 0.35um CMOS Process For High Speed Communication Systems*, Master's thesis, Universitas Gunadarma
- Mukhopadhyay, J., Pandit, S., 2012, Modelling and Design of a Nano Scale CMOS Inverter for Symmetric Switching Characteristics
- Putra, A.U. (n.d.). Modul 5 Transistor Sebagai Switch
- Sunaniya, A.K., & Khare, K., 2013, Design of Improved Resistor Less 45nm Switched Inverter Scheme (SIS) Analog to Digital Converter, *International Journal of VLSI Design & Communication Systems*, 4(3).
- Wibowo, E. Prasetyo, 2005, Disain Skematik, Layout dan Simulasi dengan Menggunakan Perangkat Lunak Mentor Graphics.