



UNIVERSITAS INDONESIA

VLSI DALAM DESAIN RANGKAIAN DIGITAL PRIMITIF

Oleh :

Muhammad As'ad Muyassir (1806199953)

Teknik Komputer

E-mail: muhammad.asad@ui.ac.id

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS INDONESIA

DEPOK

2020

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Perkembangan semikonduktor sangat mempengaruhi kapasitas IC dalam menampung banyaknya semikonduktor yang terdapat didalamnya. Hal tersebut sangat berpengaruh terhadap perkembangan IC yang dapat menampung jumlah transistor yang dapat ditampungnya menjadi lebih banyak dan memberikan peningkatan performa yang cukup signifikan. Perkembangan IC tersebut sangat penting dalam pembuatan sistem tertanam yang membutuhkan integrasi di dalamnya.

Sistem tertanam sangat mementingkan efisiensi biaya produksi sehingga diperlukan sistem yang sangat minimum namun memiliki performa yang tinggi. Dengan teknologi VLSI juga kita dapat membuat IC microcontroller yang terdiri dari susunan microprocessor dan telah dilengkapi dengan RAM, ROM, ADC, dan komponen-komponen lainnya. Maka dari itu proses produksi sistem tertanam akan memiliki biaya produksi yang lebih efisien jika menerapkan VLSI di dalamnya.

VLSI dapat membuat sistem tertanam dapat dibuat hanya dengan sedikit komponen bahkan bisa dibuat hanya menggunakan satu IC saja. Sebelum kita bisa membuat sistem dengan integrasi yang besar dan kompleks, lebih baik kita mengetahui sistem perancangan dan produksi IC menggunakan VLSI pada rangkaian primitif serta dasar terlebih dahulu. Hal tersebut akan memudahkan kita dalam membuat perancangan VLSI pada sistem tertanam yang akan kita buat nantinya yang lebih terintegrasi dan kompleks.

Ditambah lagi dengan perkembangan pemrosesan pada komputer yang memungkinkan kita melakukan desain menggunakan rangkaian gerbang logika yang kemudian bisa kita ubah menjadi bahasa tingkat hardware berjenis verilog pada software DSCH. Dari hasil output verilog tersebut, kita bisa membuat desain VLSI dengan software microwind dengan mudah tanpa perlu melakukan desain VLSI dari awal. Dengan software tersebut kita hanya tinggal mengatur tata letak dan ukuran komponen sesuai dengan design rule supaya IC yang kita desain bisa diproduksi. Software tersebut juga bisa melakukan verifikasi terhadap desain VLSI yang telah kita buat dengan menunjukkan pada bagian desain sebelah mana yang belum memenuhi syarat dari design rule. Dengan bantuan tersebut kita hanya perlu mengubah desain kita sesuai dengan syarat minimal yang ditampilkan pada software. Software tersebut juga dapat digunakan untuk simulasi desain yang telah kita buat.

1.2. Permasalahan

Di Indonesia sendiri masih sangat jarang menerapkan perancangan VLSI ini pada sistem yang akan dibuat. Biasanya di dalam sistem hanya menggunakan mikroprocessor atau mikrokontroller yang sudah jadi saja lalu diprogram sesuai sistem yang diinginkan. Di Indonesia juga VLSI masih belum begitu dikenal karena masih belum ada pabrik yang bisa memproduksi IC sendiri. Hal tersebut terjadi karena biaya dalam membangun pabrik tersebut cukup tinggi, sehingga belum ada yang mampu membuatnya di Indonesia. Karena belum ada pabrik yang dapat memproduksi IC, maka VLSI di Indonesia kurang populer dan masih sedikitnya media yang memberikan informasi mengenai VLSI itu sendiri.

1.3. Tujuan

- Memberikan informasi mengenai perancangan VLSI dan simulasinya
- Memberikan informasi mengenai perancangan berbagai gerbang logika dasar
- Memberikan gambaran perancangan IC dengan rangkaian sederhana
- Memberikan gambaran hasil simulasi dalam menjalankan IC yang telah dirancang dengan komputer

2. Tinjauan Teoritis

2.1. VLSI

VLSI (Very-Large-Scale Integration) adalah salah satu proses fabrikasi dalam pembuatan sirkuit terintegrasi (IC) yang ditemukan pada tahun 1970. Proses VLSI akan menggabungkan ribuan transistor dalam satu IC. Dalam perancangan VLSI, kita akan melakukan perancangan terhadap rangkaian digital yang akan kita implementasikan menggunakan transistor untuk diproduksi dalam suatu IC. Salah satu contoh perangkat VLSI adalah mikroprocessor dan mikrokontroller yang didalamnya telah tertanam ribuan transistor untuk dapat menjalankan berbagai fungsi yang ada di dalamnya. Contohnya seperti CPU, ROM, RAM yang dapat dibuat hanya pada satu chip mikrokontroller. VLSI sangat berguna dalam perkembangan proses produksi IC terutama dalam merancang IC yang kecil dengan banyak transistor. Dengan VLSI juga kita dapat mengatur desain rangkaian sesuai dengan yang kita inginkan, sehingga efektivitas dari IC yang akan kita buat bisa sangat tinggi.

Teknik fabrikasi yang biasa dilakukan dalam produksi IC adalah *Wafer Fabrication* yang digunakan untuk membuat substrate. Kemudian wafer tersebut dilakukan proses *Oxidation* untuk menambah ketebalan wafer dengan dipanaskan. Setelah itu wafer akan dilakukan *Patterning* yang akan memberi cetakan pada wafer dengan bentuk dari desain VLSI yang telah kita buat. Lalu dengan proses *Diffusion* wafer akan diberi lubang pada lapisan substrate dan memberi ion di dalamnya. Ion tersebut akan diberikan jenis ion+ atau ion- pada proses *Ion Implementation*. Pada proses terakhir, proses *layout*, akan dibuat informasi terhadap komponen yang akan kita buat.

2.2. Semikonduktor

Semikonduktor adalah salah satu jenis bahan yang dapat mengalirkan listrik. Kemampuan semikonduktor dalam melakukan penghantaran arus listrik berada diantara konduktor dan insulator. Semikonduktor biasa kita temui dalam peralatan elektronik yang ada di sekitar kita. LED, dioda, transistor, dan IC adalah contoh elektronik yang tersusun dari komponen berjenis semikonduktor. Semikonduktor banyak digunakan karena sifat konduktifitasnya yang berada diantara konduktor dan insulator sehingga semikonduktor dapat diatur sifat konduktifitasnya dengan memberikannya arus listrik tertentu dan syarat-syarat tertentu.

Semikonduktor biasa terbuat dari bahan Silicon, Selenium, Germanium, dan Metal Oxides. Bahan-bahan tersebut masih berjenis semikonduktor murni (semikonduktor intrinsik) yang harus diberi doping untuk menambahkan ketidakmurniannya (impurity). Bahan yang biasa digunakan untuk menambah ketidakmurnian dari semikonduktor adalah Arsenic, Indium, dan Antimony. Bahan tersebut biasa disebut sebagai dopant, sedangkan hasil semikonduktor yang sudah didoping disebut sebagai semikonduktor ekstrinsik dan siap digunakan dalam komponen elektronika. Contoh penggunaan semikonduktor dalam rangkaian elektronika ada pada rangkaian penyearah, penguat arus, penguat tegangan, penguat daya, gerbang logika, dll.

Semikonduktor ekstrinsik dapat dibedakan menjadi semikonduktor tipe N, yaitu semikonduktor yang telah didoping dengan bahan yang menyebabkannya menjadi kaya akan muatan negatif (elektron) dan kekurangan muatan positif. Bahan yang dapat membuat semikonduktor menjadi kaya akan muatan elektron adalah Arsenic dan Antimony. Sedangkan pada semikonduktor tipe P, hasil doping pada

semikonduktor tersebut menyebabkannya memiliki kelebihan muatan positif dan kekurangan muatan negatif (elektron). Bahan yang dapat membuat semikonduktor menjadi kaya akan muatan positif adalah Indium.

2.3. MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)

Transistor adalah salah satu jenis komponen semikonduktor yang biasa digunakan untuk melakukan penguatan, pengendali, penyearah, dll. Transistor sendiri ditemukan pada akhir tahun 1947 yang berjenis transistor bipolar. Pada saat itu perangkat elektronik yang berukuran besar mulai bisa dirancang menjadi perangkat yang lebih kecil karena ditemukannya transistor. Hingga saat ini transistor sangat mempengaruhi perkembangan elektronika, dimana hampir seluruh perangkat elektronika yang dibuat pasti terdapat komponen transistor di dalamnya karena fungsinya yang begitu penting terutama dalam proses pembuatan IC.

Pada proses pembuatan IC, jenis transistor yang biasa digunakan adalah transistor MOSFET yang merupakan salah satu tipe transistor FET, dimana pada transistor tipe ini konduktifitasnya hanya diatur menggunakan tegangan listrik yang diberikan pada terminal Gate (G). Hal tersebut menyebabkan transistor bertipe FET biasa disebut transistor unipolar karena tergantung pada salah satu muatan pembawa saja. Transistor MOSFET sendiri biasanya menggunakan Silicon Dioksida (SiO_2) diantara Gate (G) dan kanalnya. MOSFET juga dibagi menjadi dua jenis, yaitu MOSFET Kanal-N dan MOSFET Kanal-P. Yang membedakan kedua jenis itu adalah jenis substrate yang digunakan, pada MOSFET Kanal-N menggunakan substrate berupa semikonduktor tipe P dengan doping daerah kanal (Source (S) dan Drain (D)) berupa difusi n^+ , sedangkan pada MOSFET Kanal-P menggunakan substrate berupa semikonduktor tipe N dengan doping daerah kanal (Source (S) dan Drain (D)) berupa difusi p^+ .

2.4. Gerbang Logika Dasar

Gerbang logika adalah dasar dalam pembentukan rangkaian-rangkaian elektronik digital. Gerbang logika digunakan untuk melakukan pemrosesan terhadap input yang berjenis bilangan biner yang hanya memiliki nilai 0 dan 1. Pemrosesan tersebut dapat menghasilkan output yang kita inginkan sesuai dengan teori matematika aljabar boolean. Pada sistem gerbang logika memanfaatkan rangkaian dioda atau transistor dan disusun sehingga membentuk rangkaian untuk digunakan

sebagai gerbang logika dasar. Gerbang logika dasar juga terdiri dari 7 jenis yaitu Gerbang AND, Gerbang OR, Gerbang NOT, Gerbang NAND, Gerbang NOR, Gerbang XOR, dan Gerbang XNOR. Dari rangkaian gerbang logika dasar tersebut dapat dirangkai dengan menghubungkan satu atau lebih gerbang logika menjadi berbagai jenis rangkaian yang lebih kompleks seperti adder, flip-flop, ALU, dll.

2.5. Microwind dan DSCH

Microwind adalah sebuah aplikasi yang dibuat oleh professor dari INSA yang bernama Etienne Sicard. INSA sendiri adalah sekolah teknik yang berada pada University of Toulouse, Prancis. Aplikasi Microwind dapat digunakan untuk melakukan perancangan VLSI terhadap suatu IC. Aplikasi ini mempermudah proses perancangan VLSI dengan berbagai fitur yang ada di dalamnya, seperti contoh fitur untuk melakukan ekspor rancangan VLSI dari suatu bahasa yang berbasis hardware dengan jenis bahasa verilog. Fitur impor tersebut dapat membuat rancangan VLSI secara otomatis hanya dengan membuat file verilognya saja kemudian diekspor pada software ini. Sedangkan DSCH adalah salah satu alat tambahan yang dibuat untuk mempermudah proses pembuatan rancangan digital. Dengan aplikasi ini kita bisa melakukan desain rangkaian digital yang kita inginkan. Selain itu, aplikasi ini juga memberikan fitur untuk dapat melakukan ekspor hasil desain rangkaian digital yang kita buat menjadi file verilog. Jadi dengan bantuan kedua aplikasi ini kita dapat membuat IC hanya dengan melakukan desain rangkaian digital kemudian melakukan konfigurasi ke dalam perancangan VLSI untuk dapat dilakukan proses fabrikasi IC.

3. Metode Penelitian

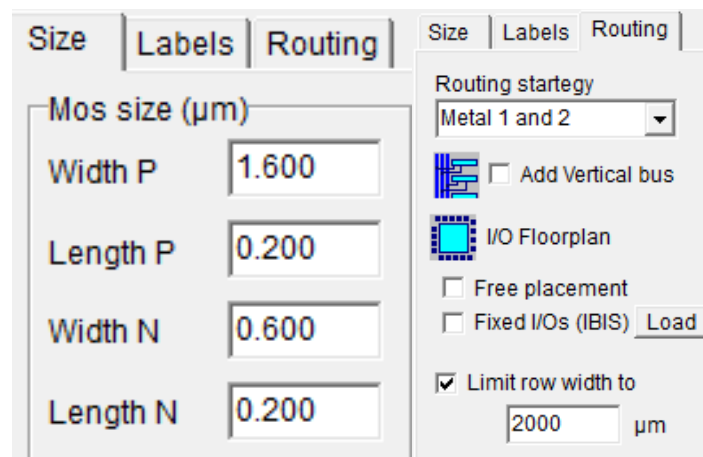
Metode penelitian pada makalah ini dengan melakukan perancangan gerbang logika menggunakan aplikasi DSCH pada masing-masing gerbang yang akan diuji coba. Gerbang yang akan diuji coba adalah gerbang AND, OR, dan NOT. Selain itu pada makalah ini juga akan ada simulasi pada rangkaian yang berisi kombinasi dari gerbang-gerbang logika dasar yaitu JK Flip-Flop. Seluruh rangkaian tersebut akan dibuat terlebih dahulu pada aplikasi DSCH kemudian diekspor menjadi file verilog supaya bisa digunakan pada perancangan VLSI di aplikasi Microwind. Pada aplikasi DSCH juga bisa dilakukan simulasi terhadap rangkaian yang akan kita buat. Untuk melakukan impor ke dalam aplikasi Microwind, kita harus melakukan compiling terhadap file verilog yang telah kita buat di DSCH tadi.

Sebelum melakukan compile, kita harus memilih teknologi yang akan digunakan pada proses desain IC. Cara pemilihan teknologi bisa didasarkan terhadap sistem yang akan dibuat, bisa dilihat dari tabel 1 di bawah.

Lithography	Year	Metal layers	VDD (V)	Oxide (nm)	Threshold (V)	Input/output pads	File
1.2 μ m	1986	2	5.0	25	0.8	250	Cmos12.rul
0.7 μ m	1988	2	5.0	20	0.7	350	Cmos08.rul
0.5 μ m	1992	3	3.3	12	0.6	600	Cmos06.rul
0.35 μ m	1994	5	3.3	7	0.5	800	Cmos035.rul
0.25 μ m	1996	6	2.5	6	0.45	1000	Cmos025.rul
0.18 μ m	1998	6	2.0	5	0.40	1500	Cmos018.rul
0.12 μ m	2000	7	1.5	4	0.30	1800	Cmos012.rul
0.10 μ m	2002	8	1.0	3	0.20	2000	Cmos010.rul
0.07 μ m	2005	8	0.8	2	0.15	3000	Cmos007.rul

Tabel 1. Teknologi pada DSCH

Pada makalah ini teknologi yang digunakan ada pada file Cmos018.rul. Setelah memilih teknologi kita bisa melakukan compile file verilog yang telah kita buat tadi supaya menjadi perancangan VLSI dengan konfigurasi ukuran MOS dan sistem routing sesuai gambar 1 di bawah.



Gambar 1. Konfigurasi ukuran MOS pada Microwind

Setelah dicompile maka akan muncul perancangan VLSI dari IC yang akan dibuat. Kita bisa melakukan verifikasi design rule terhadap desain yang telah dibuat dengan fitur Design Rule Checker. Jika kita ingin membuat IC tersebut dengan I/O Pads, maka perlu dilakukan generate I/O Pads dengan pengaturan sesuai gambar 2 dengan mengkonfigurasi banyak pads yang ingin dibuat pada IC serta tegangan VDD menyesuaikan teknologi yang digunakan.

Gambar 2. Konfigurasi pads

Setelah konfigurasi pads maka perancangan VLSI telah selesai. Kita bisa melihat hasil dari perancangan kita dengan berbagai macam fitur yang tersedia seperti measure distance untuk mengukur desain kita, process steps in 3D untuk melihat proses fabrikasi tiap step dengan bentuk 3 dimensi, dan fitur lainnya yang tidak digunakan pada makalah ini.

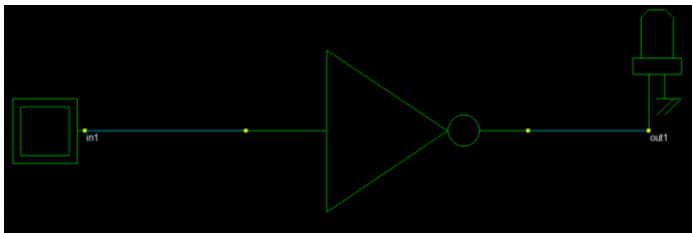
4. Hasil Penelitian

Tabel Kebenaran gerbang NOT

Input	Output
A	X
0	1
1	0

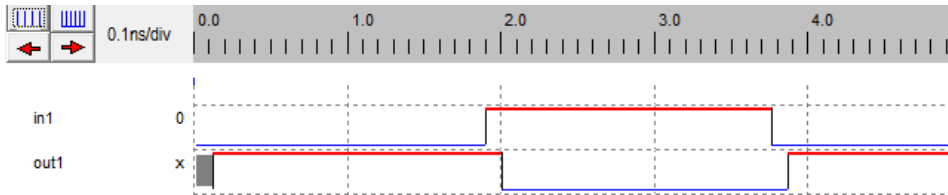
Tabel 2. Tabel kebenaran gerbang NOT

Rangkaian gerbang NOT



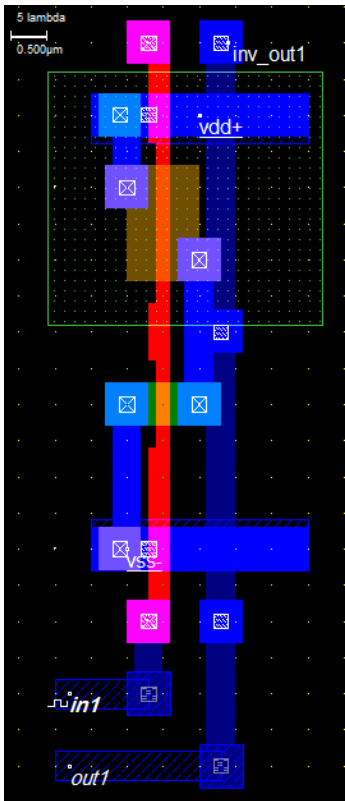
Gambar 3. Rangkaian gerbang NOT

Hasil Simulasi gerbang NOT



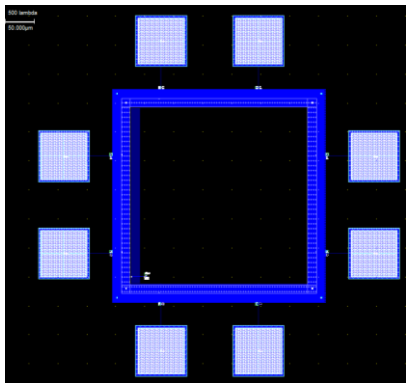
Gambar 4. Simulasi gerbang NOT

Hasil Desain VLSI gerbang NOT



Gambar 5. Desain VLSI gerbang NOT

Hasil Desain dalam Layout Pads gerbang NOT



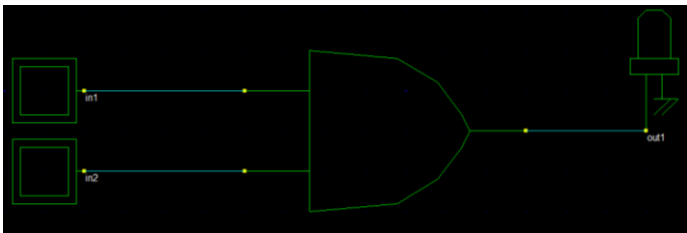
Gambar 6. Desain dengan pads gerbang NOT

Tabel Kebenaran gerbang AND

Input		Output
A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

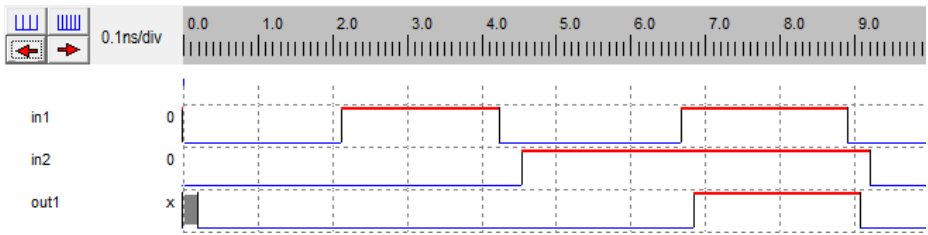
Tabel 3. Tabel kebenaran gerbang AND

Rangkaian gerbang AND



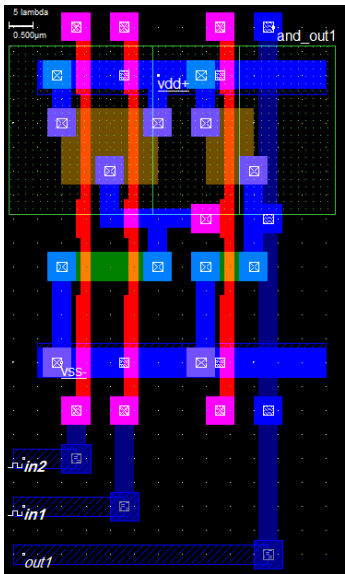
Gambar 7. Rangkaian gerbang AND

Hasil Simulasi gerbang AND



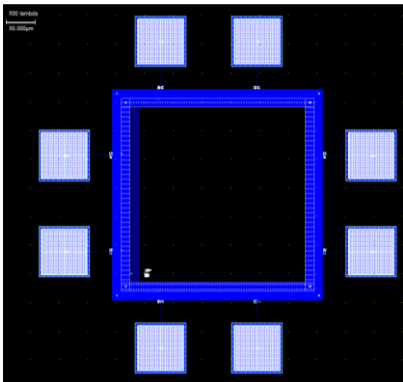
Gambar 8. Simulasi gerbang AND

Hasil Desain VLSI AND



Gambar 9. Desain VLSI gerbang AND

Hasil Desain dalam Layout PAD AND



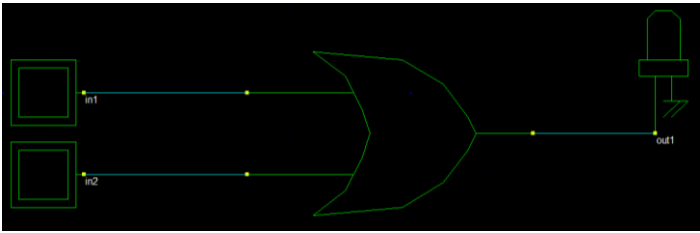
Gambar 10. Desain dengan pads gerbang AND

Tabel Kebenaran gerbang OR

Input		Output
A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

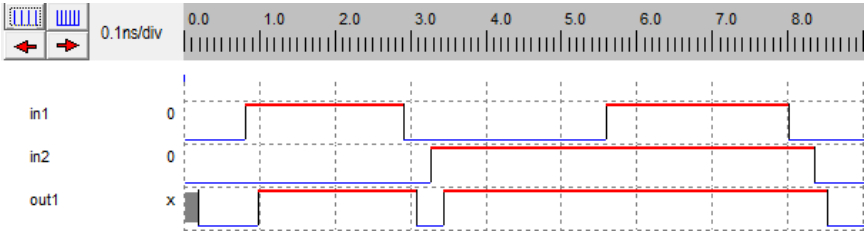
Tabel 3. Tabel kebenaran gerbang OR

Rangkaian gerbang OR



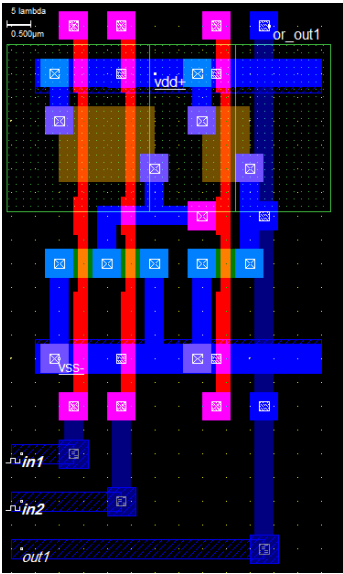
Gambar 11. Rangkaian gerbang OR

Hasil Simulasi gerbang OR



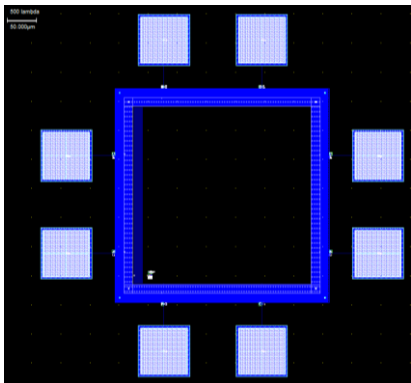
Gambar 12. Simulasi gerbang OR

Hasil Desain VLSI gerbang OR



Gambar 13. Desain VLSI gerbang OR

Hasil Desain dalam Layout PAD OR



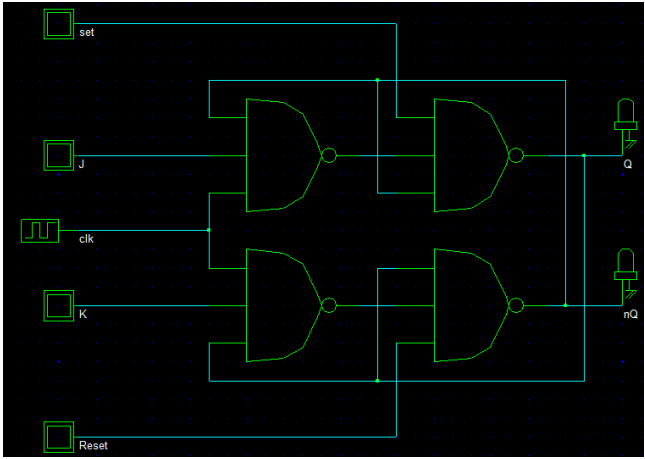
Gambar 14. Desain dengan pads gerbang OR

Tabel Kebenaran JK Flip-Flop

Input					Output	
clk	reset'	set'	J	K	Q	Q'
x	0	0	x	x	1	1
x	0	1	x	x	0	1
x	1	0	x	x	1	0
Rising	1	1	0	0	No change	
Rising	1	1	0	1	0	1
Rising	1	1	1	0	1	0
Rising	1	1	1	1	Toggle	
Falling	x	x	x	x	No change	

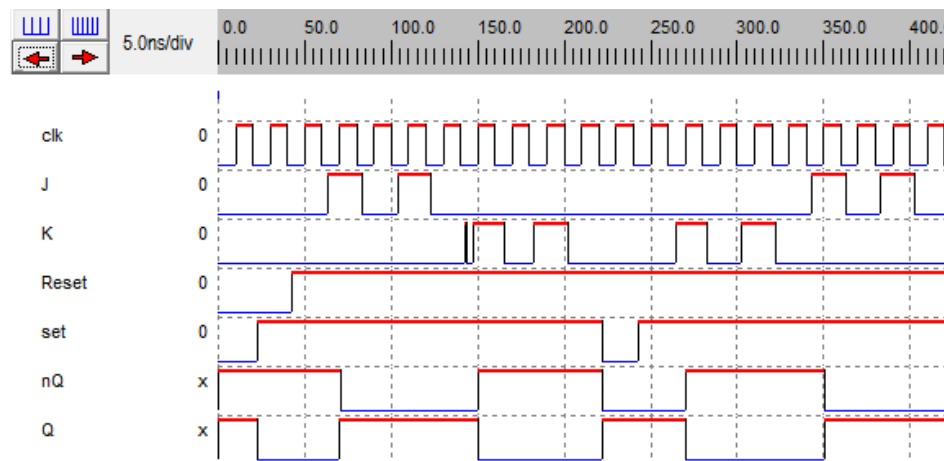
Tabel 4. Tabel kebenaran JK Flip-Flop

Rangkaian JK Flip-Flop



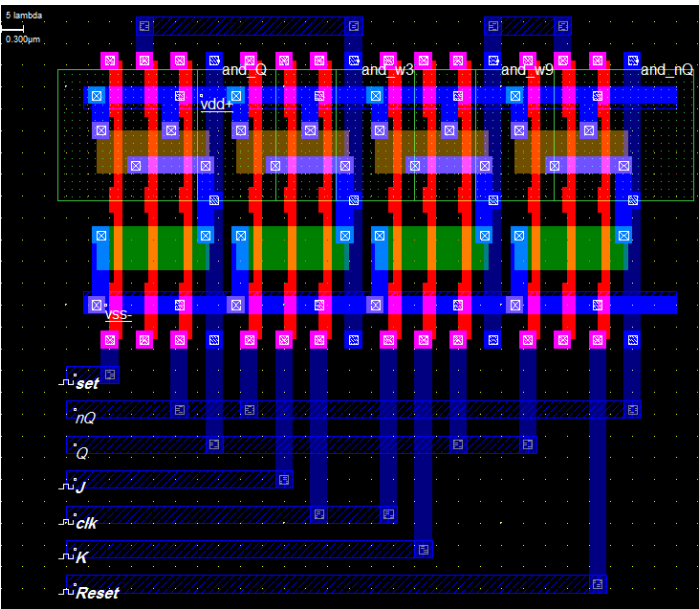
Gambar 15. Rangkaian JK Flip-Flop

Hasil Simulasi JK Flip-Flop



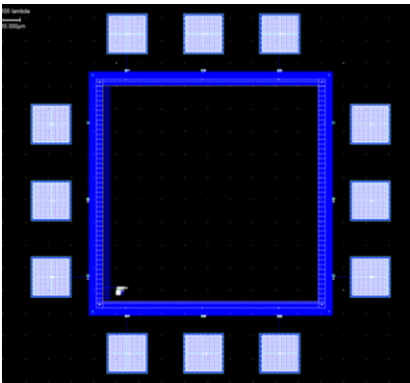
Gambar 16. Simulasi JK Flip-Flop

Hasil Desain VLSI JK Flip-Flop



Gambar 17. Desain VLSI

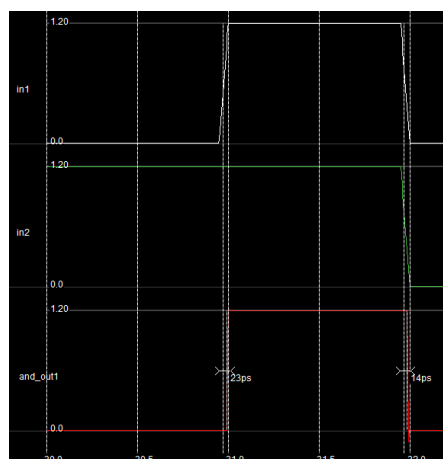
Hasil Desain dalam Layout PAD JK Flip-Flop



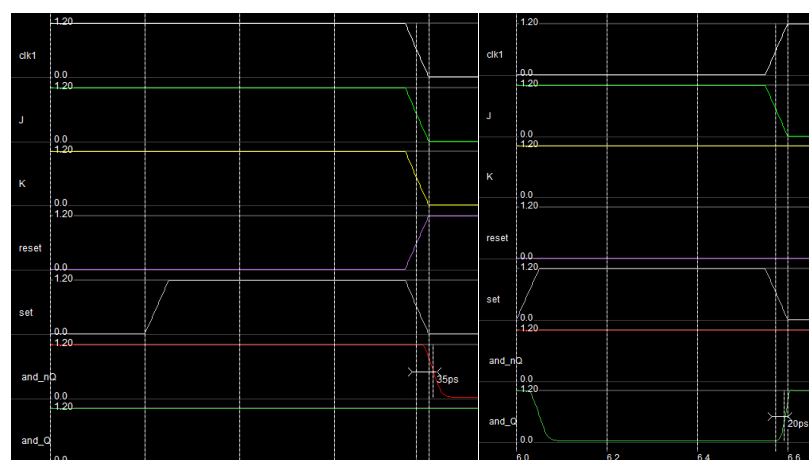
Gambar 18. Desain dengan pads gerbang OR

5. Analisis

Pada rangkaian gerbang logika dasar, seluruh rangkaian dibuat dengan input dan output sesuai dengan masing-masing gerbang logika yang dibuat. Sedangkan pada JK Flip-Flop rangkaian yang dibuat terdiri dari berbagai kombinasi dari beberapa gerbang logika. Pada proses simulasi yang dilakukan menghasilkan output yang sesuai dengan tabel kebenaran yang dimilikinya. Dengan demikian desain VLSI dan IC yang dibuat sudah sesuai dengan yang diinginkan, jadi rangkaian itu sudah bisa dilakukan proses fabrikasi. Saat dilakukan pengecekan dengan menggunakan alat Design Rule Checker yang disediakan pada Microwind, tidak memberikan hasil bahwa perancangan VLSI yang telah dibuat tidak sesuai dengan kaidah desain IC. Maka file Cmos018.rul termasuk aman untuk digunakan dalam melakukan desain pada Microwind dengan delay sampai 22ps pada rangkaian gerbang logika dasar, sampai 20 ps pada output Q JK Flip-Flop, dan sampai 35ps pada output nQ JK Flip-Flop, bisa dilihat pada gambar 18 dan 19.



Gambar 18. Delay gerbang logika



Gambar 19. Delay JK Flip-Flop

6. Kesimpulan

Dari hasil pembuatan rangkaian sederhana menjadi IC, kita bisa mengetahui bahwa aplikasi yang ada, sebagai contoh adalah DSCH dan Microwind, dapat mempermudah kita dalam melakukan perancangan VLSI dengan segala fitur yang telah disediakan oleh aplikasi tersebut. Selain itu pada Microwind juga kita dapat melakukan simulasi secara langsung dengan gambaran bagaimana IC kita akan bekerja disaat kita telah melakukan produksi IC tersebut, sehingga kita dapat mengetahui apakah fungsi dari IC tersebut telah berjalan dengan baik sebelum melakukan proses fabrikasi. Dengan visualisasi simulasi juga akan mempermudah kita dalam melakukan perbaikan masalah yang terdapat di rangkaian yang sedang kita buat. Dari hasil di atas juga kita bisa mengetahui bagaimana melakukan perancangan berbagai rangkaian yang tersusun dari gerbang logika dasar menggunakan DSCH. Serta bagaimana kita dapat membuat perancangan VLSI pada rangkaian yang telah kita buat. Gambaran hasil dari IC yang telah kita buat rancangan VLSInya juga dapat dilihat pada Microwind sebelum kita melakukan proses fabrikasi IC.

7. Daftar Referensi

- [1] Neil H.E. Weste and Kamran Eshragian, "Principle of CMOS VLSI Design", Addison Wesley Publishing Company, First Edition.
- [2] Neil H.E. Weste and David Money Harris "CMOS VLSI Design 4 th ed".
- [3] https://www.tutorialspoint.com/vlsi_design/vlsi_design_digital_system.htm diakses pada 7 Juni 2020
- [4] https://www.tutorialspoint.com/vlsi_design/vlsi_design_mos_inverter.htm diakses pada 7 Juni 2020
- [5] <https://microwind.org> diakses pada 9 Juni 2020
- [6] <https://teknikelektronika.com/prinsip-dasar-dan-pengertian-semikonduktor-semiconductor/> diakses pada 9 Juni 2020
- [7] <https://www.uniksharianja.com/2016/02/pengertian-semikonduktor.html> diakses pada 10 Juni 2020
- [8] <https://teknikelektronika.com/pengertian-gerbang-logika-dasar-simbol/> diakses pada 10 Juni 2020
- [9] <https://teknikelektronika.com/pengertian-transistor-jenis-jenis-transistor/> diakses pada 11 Juni 2020
- [10] <https://mikroavr.com/pengertian-mosfet-dan-manfaat-nya/> diakses pada 11 Juni 2020