

## GAME PACMAN DENGAN VGA CONTROLLER SEBAGAI PENAMPIL DI MONITOR PADA GAME CONSOLE BERBASIS FPGA

### *PACMAN GAME WITH VGA CONTROLLER AS A DISPLAY IN THE MONITOR ON FPGA-BASED GAME CONSOLE*

Deatari Rosika Anggraeni<sup>1</sup>, Dr. Rizki Ardianto Priramadhi, S.T., M.T.<sup>2</sup>, Dr. Ir. Sony Sumaryo, M.T.<sup>3</sup>

Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[deatarr@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:deatarr@student.telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[rizkia@telkomuniversity.ac.id](mailto:rizkia@telkomuniversity.ac.id),

<sup>3</sup>[sonysumaryo@telkomuniversity.ac.id](mailto:sonysumaryo@telkomuniversity.ac.id)

---

#### Abstrak

Perkembangan teknologi permainan saat ini sudah berkembang pesat. Industri game di Indonesia sendiri memiliki pendapatan hingga 190 juta dolar AS sepanjang tahun 2013, dengan meningkatnya pertumbuhan sebesar 35 persen dibandingkan tahun sebelumnya, hal ini menunjukkan besarnya peluang bisnis industri game di tanah air. Nyatanya, mengembangkan *game console* itu sendiri dapat dikembangkan dengan menggunakan FPGA atau *Field Programmable Gate Array* sebagai board dari game tersebut serta *VGA Controller* yang dapat menampilkan game di monitor.

Metode yang digunakan dalam Tugas Akhir ini yaitu studi literatur untuk mencari teori dasar dalam merancang *game console*. Selanjutnya, perlu dilakukan analisis masalah untuk mengetahui masalah yang muncul dalam pembuatan *game console* menggunakan FPGA, VGA, dan Monitor untuk menampilkannya. Hal berikutnya yang dilakukan adalah merancang sistem, dimulai dari diagram alir hingga perancangan *game console* pada FPGA dan VGA. Hal terakhir yang dilakukan adalah simulasi alat yang sudah dirancang untuk menguji dan melihat apakah *game console* sudah berjalan dengan baik.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dapat dirancang sebuah *game console* sederhana berbasis FPGA, dengan dibuktikan oleh penggunaan 19% *logic cell* dan 51% *memory bits* untuk level 1 dan 19% *logic cell* dan 51% *memory bits* untuk level 2. Dimana FPGA diintegrasikan dengan *VGA Controller* dan Monitor sebagai media menampilkan *Game Pacman*.

**Kata Kunci :** *Game Console, FPGA, VGA Controller, Game Pacman.*

---

#### Abstract

*The development of game technology is now growing rapidly. The gaming industry in Indonesia itself has the income to 190 million u.s. dollars through the year 2013, with the increasing growth of 35 percent compared to the previous year, this shows the magnitude of the business opportunities the gaming industry in the country. In fact, developing a game console itself can be developed using the FPGA or Field Programmable Gate Array as the board of the game as well as a VGA Controller that can display games in a monitor.*

*The method used in this Final Project is the study of literature to find the basic theory in designing a game console. Furthermore, it is necessary to analyze the problem to find out the problems that arise in making game consoles using FPGA, VGA, and Monitor to display them. The next thing to do is to design the system, starting from the flow diagram to the design of game consoles on FPGA and VGA. The last thing to do is a simulation that has been designed to test and see if the game console is running well.*

*From the results of testing that has been done, it can be concluded that a simple FPGA based game console can be designed, as evidenced by the use of 19% logic cells and 51% memory bits for level 1 and 19% logic cells and 51% memory bits for level 2. Where the FPGA is integrated with the VGA Controller and Monitor as a media displaying the Pacman Game.*

**Keywords:** *Game Console, FPGA, VGA Controller, Game Pacman.*

---

## 1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi permainan saat ini sudah berkembang pesat. Asia Tenggara ternyata merupakan wilayah dengan pertumbuhan pasar game paling tinggi di dunia. Terdapat lima negara yang merupakan pasar terbesar untuk game, yaitu Indonesia, Vietnam, Filipina, Malaysia, dan Thailand. Sebagian besar gamer di lima negara tersebut justru memainkan game di lebih dari satu arsitektur hardware, mulai dari menggunakan Personal Computer, Smartphone, sampai dengan Game console[1]. Hal ini disebabkan karena tingginya minat serta kebutuhan dari konsumen di era sekarang. Banyak developer dari perusahaan yang berfokus pada teknologi permainan, berlomba-lomba untuk menghasilkan sebuah teknologi permainan yang mumpuni. Hal itu dapat dilihat dari perkembangan game console yang saat ini sudah mencapai generasi ke-8.

Nyatanya pembuatan game console itu sendiri dapat dikembangkan dari hal-hal yang sederhana seperti menggunakan FPGA atau Field Programmable Gate Array sebagai board dari game tersebut. Game console berbasis FPGA ini, akan memanfaatkan gerbang-gerbang yang terdapat pada FPGA yang penulis gunakan. Solusi ini dapat membuka kesempatan kepada industri yang baru untuk memulai bisnisnya di dunia game console serta meningkatkan perhatian akan keberadaan pengembang game lokal di Indonesia.

Berdasarkan uraian diatas, disini penulis akan mengembangkan sebuah game console sederhana berbasis FPGA yang diintegrasikan dengan VGA Controller. Yang dimana board FPGA itu akan digunakan sebagai hardware dari game console yang akan dibuat dan Monitor sebagai penampil game tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan game console sederhana, mengembangkan algoritma game sederhana yang sesuai dan dapat diimplementasikan di dalam board FPGA, serta mengintegrasikan VGA Controller dan menampilkan Game Pacman di Monitor.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Game Pacman

Game *Pac-Man* adalah sebuah permainan *arcade* yang dikembangkan dan dipublikasikan oleh *Namco*. *Pac-man* pertama kali dirilis di Jepang pada bulan Mei tahun 1980. *Game* ini mempunyai peraturan permainan sederhana yang mudah dimengerti oleh semua orang, karakter yang berwarna dan lucu, dan efek suara yang unik saat berada di dalam *game*. [2]

Cara memainkan *game* ini yaitu pemain akan menggerakkan *Pac-man* di dalam sebuah labirin yang disetiap jalur yang dilewati terdapat *dots* atau titik yang dikenal dengan *Pac-Dots*. Tujuan dari permainan ini adalah memakan semua *Pac-Dots* yang terdapat di dalam labirin sembari dikejar oleh empat karakter hantu yang berusaha membunuh *Pac-man*. Setelah semua *Pac-Dots* telah dimakan, maka *stage* akan selesai dan sistem dari *game* akan memulai *stage* yang baru dan akan terus berlanjut hingga nyawa yang diberikan oleh *game* habis sehingga *game* akan selesai. [2]



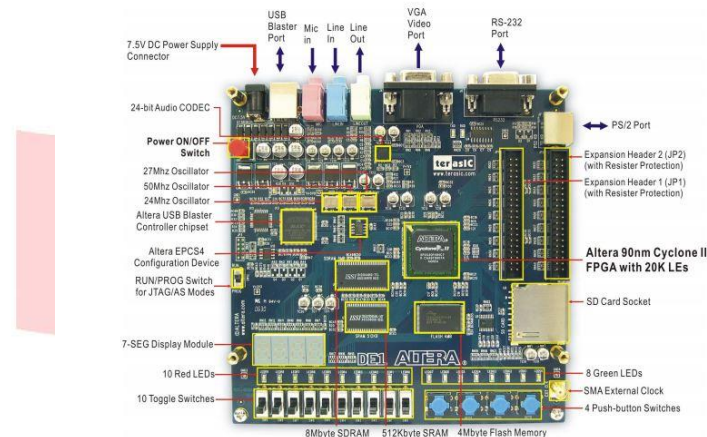
Gambar 1 Tampilan game *Pac-man*[2]

### 2.2 FPGA (Field Programmable Gate Array)

FPGA merupakan sebuah sirkuit yang terintegrasi dan perangkat logika yang memungkinkan pengguna untuk memprogram dan mendesainnya secara digital sesuai dengan kebutuhan pengguna[3][4]. FPGA tersusun oleh ribuan atau jutaan transistor yang terkoneksi dan dapat dihubungkan sehingga memiliki fungsi logika

tertentu[5].FPGA pertama kali diperkenalkan pada tahun 1985 oleh *Xilinx*. Semenjak itu banyak FPGA yang dikembangkan oleh beberapa perusahaan lain, seperti *Actel*, *Altera*, *Plessey*, dan *Advance Micro Device(AMD)*[5].

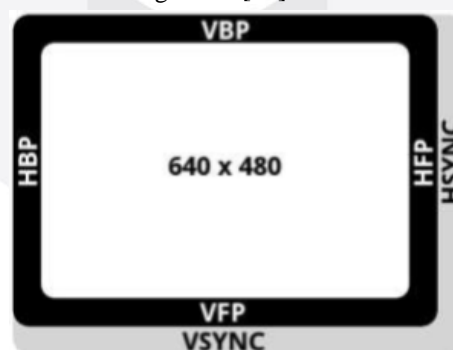
Bahasa yang digunakan untuk mengkonfigurasi FPGA yaitu dengan menggunakan bahasa *Hardware Description Language* (HDL). Terdapat dua jenis HDL yaitu *Verilog* dan *Very High-Speed Integrated Circuit (VHSIC) HDL*. IEEE dan Departemen Pertahanan AS mendukung perkembangan *hardware description language* dengan tujuan mengembangkan *high-speed integrated circuit*. Sekarang Bahasa VHDL telah menjadi salah satu bahasa standar industri yang digunakan untuk merancang dan menjelaskan system secara digital. [5][6]



**Gambar 2** Contoh FPGA yaitu *Altera DE1 Cyclone II*

### 2.3 VGA (Video Graphics Array) Controller

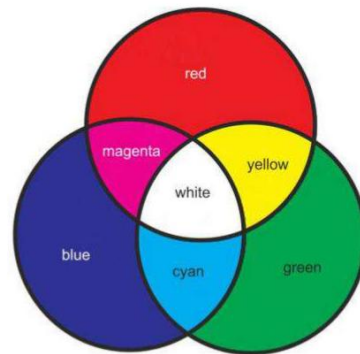
*Video Graphics Array* (VGA) adalah sebuah *video display* dengan protokol standar yang digunakan hampir di semua alat penampil seperti CRT (*Cathode Ray Tube*) dan LCD (*Liquid Crystal Display*). VGA memberikan prosedur sederhana untuk menghubungkan sebuah sistem menuju sebuah layar untuk menampilkan tulisan atau gambar.[7][8] VGA memiliki resolusi tinggi, *refresh rate* yang bagus dan penampilan warna yang beragam. VGA sendiri juga mendukung 16 penampilan warna atau 256 *gray scale*. Resolusi dari layar yang dapat digunakan oleh VGA untuk menampilkan gambar atau tulisan sebesar 480x320 *pixels* ataupun lebih besar, namun ukuran resolusi standar yang biasa digunakan adalah 640x480 *pixels*. [8] VGA Controller membutuhkan memori untuk menyimpan informasi dari gambar ataupun tulisan yang akan di tampilkan di layar monitor. Sebuah *Dual Data Rate – Synchronous Dynamic Random Access Memory* (DDR-SDRAM) dengan kapasitas sebesar 64 Mbytes yang digunakan agar dapat memenuhi dimensi dari data gambar.[10]



**Gambar 3** Tampilan layar dari VGA[8]

Dalam mengontrol dari VGA itu sendiri terdapat lima sinyal yang harus dikonfigurasi agar VGA dapat menampilkan gambar atau tulisan di monitor. Kelima sinyal itu antara lain *red signal*, *blue signal*, *green signal*, *horizontal synchronization*, dan *vertical synchronization*. Warna dari *pixel* yang terdapat di monitor di control oleh *RGB color signals* yang merupakan penggabungan dari tiga sinyal warna yaitu *red signal*, *blue signal*, dan *green signal*. Ketiga sinyal warna tersebut merupakan sebuah sinyal analog yang mempunyai rentang tegangan dari 0 sampai 0,7 volt. Dengan mengganti tegangan tersebut maka intensitas warna yang berbeda akan diperoleh, makin tinggi tegangan nya maka intensitas warnanya akan bertambah dari gelap ke terang. Ketiga sinyal warna tersebut

atau sinyal RGB dapat dimanipulasi sebagai sinyal digital, sehingga dapat diatur mana sinyal warna yang menyala mana yang tidak. Sehingga didapatkan kombinasi warna dari pengaturan tersebut.[8]



**Gambar 4 Kombinasi Warna dalam VGA controller[8]**

#### 2.4 Perhitungan Waktu Sinyal Sinkronisasi VGA

Perhitungan waktu sinyal sinkronisasi VGA, ditentukan oleh 3 parameter. Parameter itu antara lain:

- i.  $p$  = Jumlah piksel didalam pemindaian garis horizontal. Untuk resolusi 640x480, perumusannya seperti dibawah ini:

$$p = 800 \frac{\text{pixel}}{\text{garis}} \quad (2.1)$$

- ii.  $l$  = Jumlah baris dilayar (contoh: pemindaian garis vertical). Untuk resolusi 640x480, perumusannya seperti dibawah ini:

$$l = 525 \frac{\text{garis}}{\text{layar}} \quad (2.2)$$

- iii.  $s$  = Jumlah gambar perdetik. Untuk operasi bebas *flicker*, kita dapat menetapkannya menjadi:

$$s = 60 \frac{\text{gambar}}{\text{detik}} \quad (2.3)$$

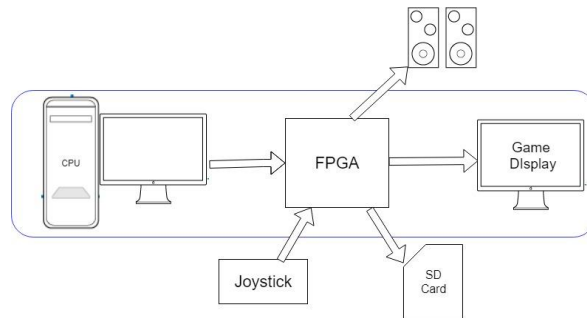
Parameter  $s$  menjelaskan tentang seberapa cepat layar harus direfresh. Untuk mata manusia, kecepatan *refresh* gambar setidaknya 30 gambar perdetik unruk membuat pergerakan tetap berlanjut. Untuk mengurangi *flicker*, monitor umumnya mempunyai kecepatan *refresh* lebih cepat, seperti spesifikasi 60 gambar perdetik diatas. Kecepatan pixel dapat dihitung dengan ketiga parameter diatas, yaitu dengan cara:

$$\text{pixel rate} = p \times l \times s \approx 25M \frac{\text{pixel}}{\text{detik}} \quad (2.4)$$

*Pixel rate* untuk resolusi lain dapat dihitung dengan cara yang sama. Terlihat jelas, bahwa kenaikan kecepatannya berbanding lurus dengan semakin besarnya resolusi dan *refresh rate* yang semakin besar.[16]

### 3. Perancangan Sistem

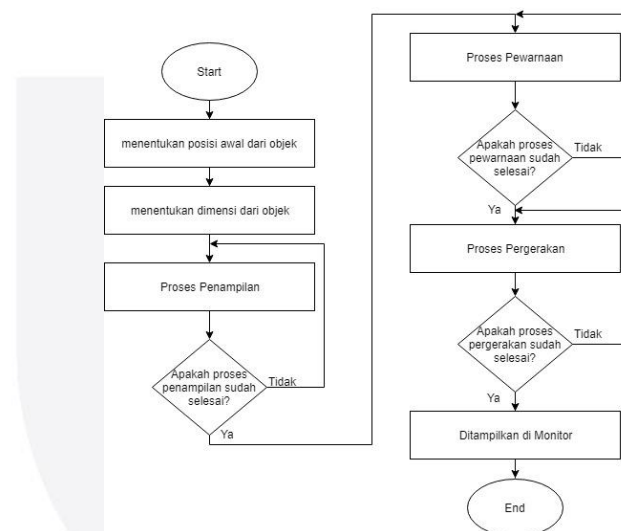
#### 3.1 Desain Sistem



Gambar 1. Desain Sistem

Gambar 3 menjelaskan desain sistem keseluruhan yang akan dikerjakan pada tugas akhir ini. Dimana akan dirancang game *Pacman* dengan *VGA Controller* pada game console berbasis *FPGA*. Perancangan dan implementasi pada tugas akhir ini terdiri dari desain perangkat keras dan desain perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan disini ialah *VGA controller* dengan *display 640x480*, *monitor 17 inch* dan *FPGA Altera DE 1 Cyclone II*. Pada *VGA Controller* akan tersambung dengan port *VGA Video Port* pada *FPGA* yang dimana monitor akan menampilkan hasil gambar atau tampilan game yang sedang dibuat, sedangkan pada perancangan perangkat lunak akan dijelaskan tentang alur diagram pemrograman pada game *Pac-Man*.

#### 3.2 Desain Perangkat Lunak



Gambar 2. Flowchart struktur dari game

Sebelum masuk menuju proses penampilan game diperlukan beberapa proses didalam game tersebut, seperti menentukan posisi awal dari objek (berupa karakter utama, karakter musuh, dll.), menentukan dimensi dari objek, dan menentukan posisi teks. Setelah proses-proses tersebut telah selesai maka sistem akan melanjutkan proses menuju tiga proses utama, yaitu proses pergerakan, proses pewarnaan, dan proses penampilan. Setelah melewati ketiga proses itu maka sistem akan mengeluarkan hasil-hasil proses tersebut kedalam monitor yang telah terhubung dengan *VGA Port* menggunakan kabel *VGA tipe DB-15*.

### 4. Pengujian Sistem

#### 4.1 Pengujian dan Analisis Menampilkan Objek dan Warna

Pengujian ini dilakukan untuk menampilkan sebuah objek persegi dengan ukuran *100x100 pixels* beserta latar belakangnya. Objek persegi dan latar belakang dari objek akan diubah warnanya sesuai dengan skema pewarnaan *RGB (Red, Green, Blue)* serta kombinasinya. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan Kabel *VGA* dengan Port *VGA out* pada board *FPGA DE 1 Cyclone II*. Selain itu pengujian ini bertujuan untuk



mengetahui apakah integrasi antara *VGA Contoller* dengan FPGA sudah berjalan dengan baik. Objek yang ditampilkan dapat dilihat pada gambar 5.



**Gambar 5 Tampilan Objek Persegi dengan ukuran 100x100 pixels**

Merubah warna dilakukan dengan mengubah nilai bit dari sinyal RGB (*Red, Green, Blue*). Pengujian ini dilakukan dengan 3 warna dasar yaitu Merah, Hijau, Biru dan 5 hasil warna pencampuran dari ke 3 warna dasar tersebut yaitu Putih, Hitam, Cyan, Kuning, dan Magenta.

Berdasarkan hasil pengujian diatas, dapat disimpulkan bahwa pengujian tersebut sesuai dengan skema perwarnaan RGB yang digunakan. Dapat dilihat perubahan warna dari objek persegi dan latar belakang objek yang berubah sesuai dengan perubahan bit sinyal RGB. Sehingga hasil pengujian ini membuktikan pengintegrasian antara *VGA Contoller* dengan FPGA sudah berjalan dengan baik.

#### 4.2 Pengujian dan Analisis Menampilkan Karakter dan Labirin pada *Game Pacman*

Pengujian ini sebagai tahap awal dalam perancangan *Game Pacman*, pada pengujian ini, akan dirancang beberapa komponen pendukung dari *Game Pacman*, yaitu, karakter *Pacman* berwarna kuning dan 2 Hantu berwarna merah muda dan biru ketika keadaan Hantu sedang “takut”, serta tempat *Pacman* dan Hantu akan bergerak, yaitu Labirin.



**Gambar 6 Tampilan Level 1 *Game Pacman***

Pada tahap ini *Game Pacman* sudah terbentuk sesuai rancangan awal. Pengujian akan berlanjut pada tahap pembuatan *level* baru dari *Game Pacman* sebagai tantangan dalam permainan *Game Pacman*. Dalam perancangan *level* dari *Game Pacman* ini akan dilakukan perubahan labirin dan penggantian warna hantu. Gambar 6 menunjukkan level 1 dari *Game Pacman*.



**Gambar 7 Tampilan Level 2 *Game Pacman***

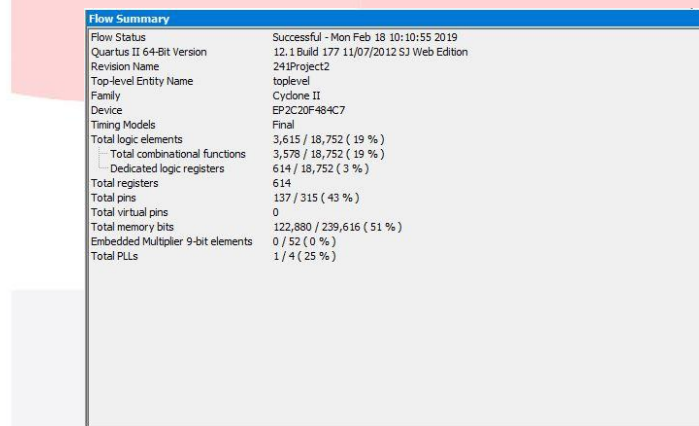
Gambar 7 menunjukkan tampilan dari level 2 *Game Pacman* yang telah dibuat sesuai dengan perancangan yang diinginkan. Terlihat perbedaannya dari level 1 adalah warna dan bentuk labirin yang berbeda, letak *cherry* dan dot hijau, dan warna salah satu hantu. Dari perancangan ke-2 level dapat disimpulkan perancangan level sudah sesuai dengan target yang ditentukan.

#### 4.3 Analisis dan Implementasi Sistem Game Pacman pada FPGA

Proses implementasi sistem Game Pacman ini dilakukan menggunakan software khusus FPGA Altera yaitu Quartus II 12.1. Untuk perangkat yang digunakan yaitu FPGA produksi Altera jenis Cyclone II EP2C20F484C7.

Sistem dari Game Pacman yang dijalankan akan menampilkan beberapa informasi yang dapat dilihat pada jendela Flow Summary seperti yang ditampilkan pada Gambar 8 dan Gambar 9. Jendela Flow Summary memberikan informasi tentang sistem yang telah dirancang seperti logic element yang digunakan, total registers yang digunakan, dan total memory bits yang digunakan.

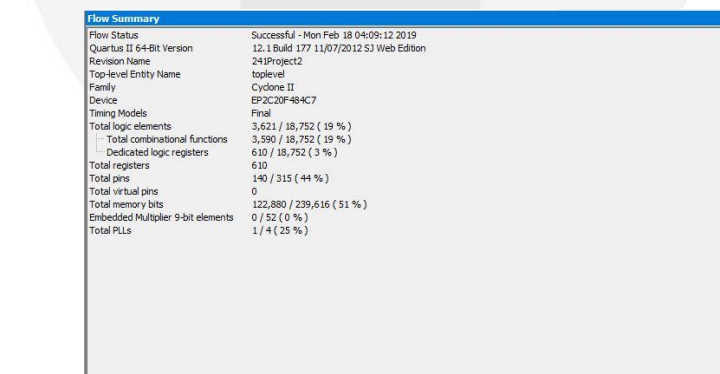
Informasi yang ditunjukkan oleh Gambar 8 merupakan hasil perancangan Level 1 dari Game Pacman. Perancangan ini menggunakan 3.615 dari 18.752 *logic element* yang tersedia atau sebesar 19%, dan 122.880 dari 239.616 *memory bits* yang tersedia atau sebesar 51%.



Flow Summary	
Flow Status	Successful - Mon Feb 18 10:10:55 2019
Quartus II 64-Bit Version	12.1 Build 177 11/07/2012 S3 Web Edition
Revision Name	241Project2
Top-level Entity Name	toplevel
Family	Cyclone II
Device	EP2C20F484C7
Timing Models	Final
Total logic elements	3,615 / 18,752 ( 19 %)
Total combinational functions	3,578 / 18,752 ( 19 %)
Dedicated logic registers	614 / 18,752 ( 3 %)
Total registers	614
Total pins	137 / 315 ( 43 %)
Total virtual pins	0
Total memory bits	122,880 / 239,616 ( 51 %)
Embedded Multiplier 9-bit elements	0 / 52 ( 0 %)
Total PLLs	1 / 4 ( 25 %)

Gambar 8 Tampilan *Flow Summary* untuk perancangan Level 1 Game Pacman

Untuk informasi yang ditunjukkan oleh Gambar 9 merupakan hasil perancangan Level 2 dari *Game Pacman*. Perancangan ini menggunakan 3.621 dari 18.752 *logic element* yang tersedia atau sebesar 19%, dan 122.880 dari 239.616 *memory bits* yang tersedia atau sebesar 51%. Perbedaan antara Level 1 dan Level 2 ditunjukkan oleh berbedanya total *logic element* dan total register yang digunakan. Jika dibandingkan dari hasil yang ditampilkan pada layar monitor maka terlihat perbedaannya dari warna dan bentuk labirin, letak *cherry* dan dot hijau, dan jumlah dari dot putih yang berbeda sehingga mempengaruhi skor atau nilai akhir pada setiap level.



Flow Summary	
Flow Status	Successful - Mon Feb 18 04:09:12 2019
Quartus II 64-Bit Version	12.1 Build 177 11/07/2012 S3 Web Edition
Revision Name	241Project2
Top-level Entity Name	toplevel
Family	Cyclone II
Device	EP2C20F484C7
Timing Models	Final
Total logic elements	3,621 / 18,752 ( 19 %)
Total combinational functions	3,590 / 18,752 ( 19 %)
Dedicated logic registers	610 / 18,752 ( 3 %)
Total registers	610
Total pins	140 / 315 ( 44 %)
Total virtual pins	0
Total memory bits	122,880 / 239,616 ( 51 %)
Embedded Multiplier 9-bit elements	0 / 52 ( 0 %)
Total PLLs	1 / 4 ( 25 %)

Gambar 9 Tampilan *Flow Summary* untuk perancangan Level 2 Game Pacman

Dari hasil yang ditunjukkan oleh kedua *Flow Summary* maka dapat disimpulkan bahwa FPGA dapat dikembangkan menjadi sebuah *game console* dan berjalan dengan baik. Selain itu hasil dari perancangan ini menunjukkan bahwa masih sangat memungkinkan untuk sistem ini lebih dikembangkan lagi seperti contoh menambahkan *game* lain sehingga terdapat 2 atau lebih *game* di dalam FPGA.

## 5. Kesimpulan

Setelah melakukan perancangan sistem serta pengujian, dan analisis dari Game Pacman Dengan VGA Controller Sebagai Penampil di Monitor pada Game Console Berbasis FPGA, maka dapat di tarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. FPGA dapat dikembangkan menjadi sebuah game console sederhana, dibuktikan dengan hasil Flow Summary dari sistem yang dirancang dan Game Pacman yang dapat ditampilkan dengan baik di layar monitor.
2. Dari hasil Flow Summary yang masih menyisakan logic element dan memory bits maka dapat disimpulkan bahwa sistem ini masih dapat dikembangkan lagi seperti misalnya menambahkan game lain.
3. VGA Controller dapat diintegrasikan dengan FPGA dan berjalan dengan baik, yaitu dibuktikan dengan munculnya warna dan objek di layar monitor yang sudah sesuai dengan perancangan yang telah dibuat.

## Daftar Pustaka

- [1] BabatPost, "Pasar Game Asia Tenggara Punya Pertumbuhan yang Paling Pesat Sedunia," *BabatPost*, 22 Januari 2017. <https://www.babatpost.com/> [Diakses 10 Maret 2018].
- [2] Pac-Man Web, "What is Pac-Man", *Pac-Man Web*, 28 November 2010 <http://pacman.com/ja/whats/>. [Diakses 18 Maret 2018]
- [3] S. M. Trimberger, D. McCarty, and T. Whitney, *Field-programmable gate array technology*. 1994.
- [4] M. Andrew, W. Ron. *FPGA for Dummies, 2<sup>nd</sup> Special Edition*,. Hoboken, NJ, 2017.
- [5] Jatmiko, W., Mursanto, P., Fajar, M., Tawakal, M. I., Trianggoro, W., Rambe, R. S., Ramadhan A. *Implementasi Berbagai Algoritma Neural Network Dan Wavelet Pada Field Programmable Gate Array*. Januari 2011
- [6] Brown, S. D., Francis, R. J., Rose, J., Vranesic, Z. G. *Field-Programmable Gate Arrays THE KLUWER INTERNATIONAL SERIES*. 1992
- [7] Terry, L., Roitch, V., Tufail, S., Singh, K., Taraq, O., Luk, W., & Jamieson, P. *Harnessing Human Computation Cycles for the FPGA Placement Problem*, *Proceedings* - presented at the 2009 International Conference on Engineering of Reconfigurable Systems & Algorithms, Las Vegas, Nevada, USA Juli 2009
- [8] Sharma, S., & Gangwar, D. S. *A Review on Design and Implementation of FPGA Based VGA Monitor and PS2 Keyboard Interface Technique*, *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, vol. 3, issue 6, 2017.
- [9] Zineb, L., Hayet, E., "FPGA Based VGA Controller and Arcade Games," M.S. thesis, University M'Hamed, Bougara, Boumerdes, Algeria, 2016
- [10] Murthy, N. V. S. *Video Graphics Array interfacing through Artix-7 FPGA*, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 3, issue 3, Maret 2016.
- [11] Chu, P. P. *Embedded SoPC Design with Nios II Processor and Verilog Examples*,. Hoboken, NJ, 2011