

## SISTEM KOMPUTASI PARALEL MENGGUNAKAN GPU BERBASIS NVIDIA CUDA

Oleh: Ahmad Sabiq<sup>1</sup>, Heri Yugaswara<sup>2</sup>, Hendra Wicaksono<sup>3</sup>

Fakultas Teknologi Informasi, Universitas YARSI, Jakarta

E-mail: ahmad.sabiq@yarsi.ac.id, heri.yugaswara@yarsi.ac.id, hendra.wicaksono@yarsi.ac.id

### Abstrak

*Dalam sebuah penelitian yang melakukan pengolahan data dalam jumlah yang banyak, umumnya dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk melakukan suatu proses komputasi agar menghasilkan output yang diinginkan. Penggunaan teknologi pemrosesan paralel menjadi salah satu alternatif untuk menyelesaikan suatu tugas yang membutuhkan komputasi besar. Graphical Processing Unit (GPU) memiliki kemampuan komputasi paralel karena strukturnya yang paralel dengan banyak core yang saling bekerja sama untuk memproses piksel grafis komputer dalam volume yang besar. Pada penelitian ini akan dikembangkan sebuah sistem komputer untuk melakukan komputasi secara paralel menggunakan GPU yang bisa diakses secara remote agar dapat dimanfaatkan kebutuhan pemrosesan paralel di lingkungan Fakultas Teknologi Informasi Universitas YARSI. Pada sistem komputasi paralel yang dibangun, digunakan GPU berbasis NVIDIA dengan chipset GeForce RTX 2070 yang memiliki 2304 Cores. CPU yang digunakan adalah intel i5-9400F 2.9GHz 6 core dengan memori DDR4 8GB. Dari hasil pengujian didapatkan GPU GeForce RTX 2070 memiliki kecepatan transfer 3 GB/s. Dari hasil pengujian dengan perkalian matriks, pada matriks berukuran 52x52 dan lebih kecil, komputasi menggunakan CPU lebih cepat dibandingkan dengan GPU. Sedangkan pada matriks berukuran 64x64 ke atas, kecepatan komputasi GPU yang didapat lebih cepat dibandingkan CPU. Pada perkalian matriks berukuran 4096x4096, kecepatan GPU 4312,75 kali lebih cepat dibandingkan dengan CPU.*

**Kata Kunci :** komputasi paralel, GPU, CUDA,

### Abstract

*In a study that processes large amounts of data, it generally takes a long time to carry out a computation process to produce the desired output. The use of parallel processing technology is an alternative for solving a task that requires large computation. The Graphical Processing Unit (GPU) has parallel computing capabilities due to its parallel structure with many cores working together to process large volumes of computer graphics pixels. In this study, a computer system was developed to perform parallel computation using a GPU that can be accessed remotely so that parallel processing needs can be utilized in the Information Technology Faculty of YARSI University. In the parallel computing system that was built, an NVIDIA-based GPU was used with the GeForce RTX 2070 chipset which has 2304 Cores. The CPU used is Intel i5-9400F 2.9GHz 6 cores with 8GB DDR4 memory. From the test results, it was found that the GeForce RTX 2070 GPU has a transfer speed of 3 GB / s. From the test results with matrix multiplication, on a matrix of 52x52 size and smaller, computation uses a faster CPU than the GPU. Whereas on a matrix of 64x64 and above, the GPU computation speed obtained is faster than the CPU. In the matrix multiplication size of 4096x4096, the GPU speed is 4312.75 times faster than the CPU.*

**Keywords :** Parallel Computing, GPU, CUDA

### 1. Pendahuluan

Dalam sebuah penelitian yang melakukan pengolahan data dalam jumlah yang banyak, umumnya dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk melakukan suatu proses komputasi agar menghasilkan output yang diinginkan. Dengan membagi setiap input ke dalam sebuah proses komputasi, membuat pengolahan data menjadi lebih singkat.

Penggunaan teknologi pemrosesan paralel menjadi salah satu alternatif untuk menyelesaikan suatu tugas yang membutuhkan komputasi besar. Teknologi ini sekarang banyak digunakan di bidang yang membutuhkan komputasi atau pemrosesan yang cepat seperti *computer science*, *image processing*, *cryptography*, *signal processing* dan komunikasi. (M. A. Gray, 2009)

GPU merupakan salah satu komponen komputer yang berfungsi untuk melakukan komputasi grafis untuk ditampilkan pada layar monitor. GPU memiliki kemampuan komputasi paralel karena strukturnya yang paralel dengan banyak core yang saling bekerja sama untuk memproses piksel grafis komputer dalam volume yang besar. Dengan kemampuan komputasi paralel yang dimiliki oleh GPU, saat ini para peneliti mulai menggunakan GPU untuk melakukan komputasi secara paralel (Kai & Zhen, 2011).

Pada penelitian ini, penulis menguji performa dari sistem komputasi paralel berbasis GPU NVIDIA GForce RTX-2070 yang dibangun untuk melakukan komputasi data paralel di lingkungan Fakultas Teknologi Universitas YARSI.

## **2. Tinjauan Pustaka**

### **2.1. Komputasi Paralel**

Komputasi paralel merupakan penggunaan beberapa sumberdaya komputasi secara simultan untuk memecahkan masalah komputasi. Suatu masalah yang akan diselesaikan dipecah ke beberapa bagian, setiap bagian dipecah menjadi serangkaian instruksi. Instruksi dari setiap bagian kemudian dikerjakan secara bersamaan di prosesor yang berbeda secara terkontrol. (B, Blaise, 2018)

Komputasi secara paralel dapat dilakukan pada sebuah komputer dengan beberapa prosesor, atau dapat juga dilakukan dengan menggunakan beberapa komputer yang terhubung melalui jaringan yang biasa disebut cluster computing, atau dapat juga menggunakan kombinasi dari keduanya.

Pada komputasi paralel digunakan untuk dapat memecahkan masalah komputasi yang kompleks agar dapat dipecahkan dengan waktu yang lebih singkat jika dibandingkan dengan komputasi yang menggunakan prosesor tunggal.

### **2.2. Komputasi Paralel berbasis GPU**

GPU merupakan salah satu komponen komputer yang berfungsi untuk melakukan komputasi grafis untuk ditampilkan pada layar monitor. GPU umumnya digunakan untuk keperluan multimedia seperti rendering (X. Wang, X. Li, M. Zou, and J. Zhou, 2011). Hal ini karena GPU memiliki kemampuan komputasi paralel karena strukturnya yang paralel dengan banyak core yang saling bekerja sama untuk memproses piksel grafis komputer dalam volume yang besar. Dengan kemampuan komputasi paralel yang dimiliki oleh GPU, saat ini para peneliti mulai menggunakan GPU untuk melakukan komputasi secara paralel (Kai & Zhen, 2011).

Penelitian komputasi paralel berbasis GPU tidak hanya dilakukan pada komputer tunggal yang memanfaatkan sebuah GPU yang ada. Beberapa riset komputasi berbasis GPU menggunakan multi GPU di dalam satu komputer. Penggunaan GPU untuk melakukan komputasi juga dilakukan pada mesin virtual melalui beberapa Virtual Mesin Manajer (Walters, J.P., dkk. 2014).

### **2.3. NVIDIA CUDA**

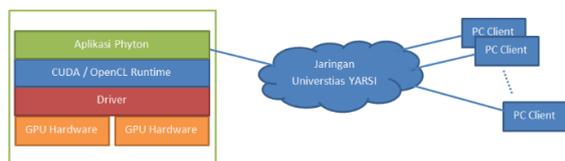
CUDA (*Compute Unified Device Architecture*) merupakan toolkit NVIDIA untuk membuat program yang dapat mengakses kartu grafis yang dibuat oleh NVIDIA. (Koprawi, M, dkk, 2017). Setiap utas CUDA akan dipetakan ke sebuah *core* GPU. Arsitektur CUDA menyediakan API dan direkrtif agar kompatibel dengan bahasa pemrograman C, C ++, Fortran, dan lain-lain. (Cali, M., & Di Mauro, V., 2016)

## **3. Metode Penelitian**

### **3.1. Rancangan Sistem**

Pada gambar 2 ditunjukkan rancangan dari sistem komputasi yang dibangun oleh penulis pada penelitian ini. Sistem yang dibangun dihubungkan ke jaringan local Universitas YARSI agar nantinya dapat

diakses oleh para peneliti yang membutuhkan komputasi paralel berbasis GPU, melalui jaringan lokal / LAN Universitas YARSI.



Gambar 1. Desain rancangan sistem komputasi paralel berbasis GPU di Fakultas Teknologi Informasi Universitas YARSI.

Pada sistem komputasi paralel yang dibangun, digunakan GPU berbasis NVIDIA yang akan digunakan untuk melakukan komputasi secara paralel. GPU yang digunakan pada penelitian ini adalah GPU dengan chipset GeForce RTX 2070 yang memiliki 2304 Cores, dan kecepatan clock 1410 MHz. Spesifikasi lebih lengkap dari GPU Nvidia GeForce RTX 2070 ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan parameter fisik

Mesin GPU	
Cuda Core	2304 inti
Clock	1410 MHz (Boost 1620 MHz)
Memori GPU	
Kapasitas Memori	8 GB DDR6
Kecepatan Memori	14 Gbps
Lebar Jalur (Bus)	256-bit
Bandwidth	448 GB/s
Suhu dan Daya GPU	
Suhu Maksimal	89° C
Daya Maksimal	175 Watt
Daya Sistem (rek)	550 Watt

### 3.2. Implementasi Hardware

Tahapan pertama yang dilakukan mengimplementasikan perangkat keras dari Sistem Komputer berbasis GPU dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Hardware

Komponen	Spesifikasi
Motherboard	Asrock B360 Pro 4, LGA1151 (Discrete Graphic Required)
Processor	intel i5-9400F 2.9GHz, 6 core, Cache 9MB
Memori	8 GB DDR4-DRAM 2400MHz PC19200

Storage	SSD 120 GB Sata3
GPU 1	ATI Radeon HD7670 4GB 128bit-DDR5 (untuk display)
GPU 2	ASUS Turbo GeForce RTX2070 8GB GDDR6 (untuk komputasi GPU)
Power Supply	maksimal 700 watt



Gambar 2. Kartu grafis Asus Turbo GeForce RTX 2070

GPU yang digunakan untuk komputasi secara paralel adalah kartu grafis “Asus Turbo GeForce RTX 2070” dengan memori 8 GB DDR6, seperti yang ada pada gambar 2.

Seluruh komponen dirakit dengan dukungan daya dari Power Supply Unit (PSU) yang mampu menghasilkan daya hingga 700 watt seperti yang tampak pada gambar 3. Daya maksimal yang dibutuhkan oleh GPU yang digunakan adalah 175 watt, ditambah kebutuhan untuk CPU, memory, dan yang lainnya. PSU yang digunakan masih akan mampu mensuplai daya saat CPU dan GPU yang digunakan bekerja pada tingkat maksimal.



Gambar 3. Sistem Komputer untuk komputasi paralel berbasis Nvidia CUDA

### 3.3. Implementasi Software

Tahap berikutnya yang dilakukan pada implementasi sistem ini adalah meninstall dan mengkonfigurasi perangkat lunak agar sistem komputer yang dibangun dapat melakukan komputasi menggunakan perangkat GPU. Beberapa perangkat lunak yang digunakan antara lain:

- Sistem Operasi Linux Ubuntu 18.04.2 LTS (Bionic Beaver)
- GCC
- Nvidia Graphic Driver 418.56
- NVidia Cuda Driver 10.1
- Phyton

Sistem operasi yang digunakan adalah Linux Ubuntu 18.04.02 LTS. Sistem operasi Linux merupakan sistem operasi yang bersifat *Free/Open Source Software* yang bebas digunakan, sehingga tidak ada tambahan biaya lagi yang dibutuhkan untuk menggunakannya. Seri Ubuntu 18.04 dengan nama Bionic Beaver merupakan versi Ubuntu yang memiliki waktu layanan jangka panjang atau long term service (LTS) hingga 5 tahun untuk tersediaan pembaruan dari perangkat lunak yang disediakan. Namun versi LTS ini juga masih dapat digunakan walaupun sudah melewati jangka waktu 5 tahun. Sehingga dalam jangka waktu yang cukup lama tidak diperlukan melakukan upgrade ke versi yang lebih baru.

Setelah sistem operasi terinstall, tahap berikutnya adalah menginstall driver Nvidia di Ubuntu. Diperlukan driver Nvidia versi terbaru yang mendukung kartu grafis Nvidia yang terpasang. Driver yang telah terinstall pada sistem ini adalah driver Nvidia versi 418.56. Untuk menampilkan versi driver dapat digunakan perintah `nvidia-smi` seperti yang ada pada gambar 4.

```
sabiq@ahmad-sabiq:~$ nvidia-smi
Wed Apr 10 10:05:44 2019
+-----+
| NVIDIA-SMI 418.56      Driver Version: 418.56      CUDA Version: 10.1      |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| GPU  Name      Persistence-M| Bus-Id        Disp.A | Volatile Uncorr. ECC |
| Fan  Temp  Perf  Pwr:Usage/Cap|  Memory-Usage | GPU-Util  Compute M. |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0   GeForce RTX 2070    Off      | 00000000:02:00:00 Off |          0%      N/A   |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 31%   45C   P8   14W / 175W | 0MiB / 7952MiB |          0%      Default |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Processes:
| GPU      PID      Type    Process name      GPU Memory |
| Usage   |
+-----+-----+-----+-----+-----+
| No running processes found
+-----+
sabiq@ahmad-sabiq:~$
```

Gambar 4. Informasi driver Nvidia setelah terinstall.

Setelah driver kartu grafis terinstall, langkah berikutnya adalah menginstall driver Nvidia CUDA, agar GPU dapat digunakan untuk melakukan komputasi. Cuda driver yang digunakan pada penelitian ini adalah Cuda Driver versi 10.1. Sebelum menginstall driver, terlebih dahulu install beberapa library yang dibutuhkan, setelah itu install cuda repository, update repository, dan install cuda driver. Setelah terinstall, dan sistem di-restart. Driver cuda sudah dapat digunakan untuk melakukan komputasi. Untuk mengecek driver cuda yang sudah terinstall, dapat digunakan perintah `nvidia-smi` seperti pada gambar 5.

```
sabiq@ahmad-sabiq:~$ nvidia-smi
Wed Apr 10 10:07:20 2019
+-----+
| NVIDIA-SMI 418.56      Driver Version: 418.56      CUDA Version: 10.1      |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| GPU  Name      Persistence-M| Bus-Id        Disp.A | Volatile Uncorr. ECC |
| Fan  Temp  Perf  Pwr:Usage/Cap|  Memory-Usage | GPU-Util  Compute M. |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0   GeForce RTX 2070    Off      | 00000000:02:00:00 Off |          0%      N/A   |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 30%   36C   P8   14W / 175W | 0MiB / 7952MiB |          0%      Default |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Processes:
| GPU      PID      Type    Process name      GPU Memory |
| Usage   |
+-----+-----+-----+-----+-----+
| No running processes found
+-----+
sabiq@ahmad-sabiq:~$
```

Gambar 5 Informasi driver Cuda setelah terinstall

Langkah berikutnya adalah menginstall Nvidia Cuda Compiler, atau `nvcc`. Setelah terinstall, sistem sudah dapat melakukan kompilasi kode program yang akan menggunakan GPU dengan driver CUDA sebagai komputasinya. Untuk mengecek versi `nvcc`, dapat digunakan perintah `nvcc -version` seperti pada gambar 6.

```
sabiq@ahmad-sabiq: ~
File Edit View Search Terminal Help
sabiq@ahmad-sabiq:~$ nvcc --version
nvcc: NVIDIA (R) Cuda compiler driver
Copyright (c) 2005-2017 NVIDIA Corporation
Built on Fri_Nov__3_21:07:56_CDT_2017
Cuda compilation tools, release 9.1, V9.1.85
sabiq@ahmad-sabiq:~$
```

Gambar 6. Informasi Cuda Compiler

Agar sistem komputer berbasis cuda dapat digunakan melalui jaringan di internal Universitas YARSI. Sistem ini dihubungkan melalui jaringan local, dan diinstall ssh server. Setelah ssh server terinstall, sistem GPU dapat digunakan melalui komputer lain yang ada di jaringan kampus Universitas YARSI. pada gambar 7 ditunjukkan tampilan setelah login ke mesin sistem GPU melalui komputer lain yang berbasis Windows.

```
sabiq@ahmad-sabiq: ~
login as: sabiq
sabiq@10.10.19.178's password:
Welcome to Ubuntu 18.04.2 LTS (GNU/Linux 4.18.0-15-generic x86_64)

 * Documentation:  https://help.ubuntu.com
 * Management:    https://landscape.canonical.com
 * Support:       https://ubuntu.com/advantage

 * Canonical Livepatch is available for installation.
   - Reduce system reboots and improve kernel security. Activate at:
     https://ubuntu.com/livepatch

177 packages can be updated.
80 updates are security updates.

Your Hardware Enablement Stack (HWE) is supported until April 2023.
Last login: Tue Apr  9 19:42:24 2019 from 10.10.19.87
```

Gambar 7. Login ke sistem komputasi GPU melalui PC berbasis Windows.

Pada gambar 8 ditunjukkan tampilan versi CUDA driver dan CUDA compiler pada sistem melalui komputer lain yang terhubung melalui jaringan menggunakan akses ssh.

```
sabiq@ahmad-sabiq: ~
sabiq@ahmad-sabiq:~$ nvidia-smi
Wed Apr 10 10:15:48 2019

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| NVIDIA-SMI 418.56      Driver Version: 418.56      CUDA Version: 10.1      |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| GPU Name      Persistence-M| Bus-Id        Disp.A | Volatile Uncorr. ECC |
| Fan  Temp  Perf  Pwr:Usage/Cap|  Memory-Usage | GPU-Util  Compute M. |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 0   GeForce RTX 2070   Off      | 00000000:02:00:00 Off |      N/A             |
| 30%   30C   P8     15W / 175W |  0MiB / 7952MiB |      0%      Default  |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

Processes:
+-----+-----+-----+-----+-----+
| GPU    PID     Type    Process name      GPU Memory |
|-----+-----+-----+-----+-----+
| No running processes found
+-----+-----+-----+-----+-----+

sabiq@ahmad-sabiq:~$ nvcc --version
nvcc: NVIDIA (R) Cuda compiler driver
Copyright (c) 2005-2017 NVIDIA Corporation
Built on Fri_Nov__3_21:07:56_CDT_2017
Cuda compilation tools, release 9.1, V9.1.85
sabiq@ahmad-sabiq:~$
```

Gambar 8. Informasi Cuda Driver dan Cuda Compiler melalui PC berbasis Windows.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian pertama yang dilakukan adalah menguji *compiler* dan menjalankan program berbasis CUDA. Program yang diuji adalah program bandwidth test dan perkalian matrik yang ada pada sample cuda. Pada gambar 9, ditunjukkan bahwa sistem telah dapat melakukan kompilasi program berbasis cuda, sehingga didapatkan file *executable* bandwidthTest (yang berwarna hijau).

```
sabiq@ahmad-sabiq:~/kudaku/cuda-samples/Samples/matrixMul
sabiq@ahmad-sabiq:~/kudaku/cuda-samples/Samples/matrixMul$ make
/usr/local/cuda/bin/nvcc -cbin g++ -I../Common -m64 -gencode arch=compute_
e_30,code=sm_30 -gencode arch=compute_35,code=sm_35 -gencode arch=compute_37,code=sm_37 -gencode arch=compute_50,code=sm_50 -gencode arch=compute_52,code=sm_52 -gencode arch=compute_60,code=sm_60 -gencode arch=compute_61,code=sm_61 -gencode arch=compute_70,code=sm_70 -gencode arch=compute_75,code=sm_75 -gencode arch=compute_75,code=compute_75 -o bandwidthTest.o -c bandwidthTest.cu
/usr/local/cuda/bin/nvcc -cbin g++ -m64 -gencode arch=compute_30,code=sm_30 -gencode arch=compute_35,code=sm_35 -gencode arch=compute_37,code=sm_37 -gencode arch=compute_50,code=sm_50 -gencode arch=compute_52,code=sm_52 -gencode arch=compute_60,code=sm_60 -gencode arch=compute_61,code=sm_61 -gencode arch=compute_70,code=sm_70 -gencode arch=compute_75,code=sm_75 -gencode arch=compute_75,code=compute_75 -o bandwidthTest bandwidthTest.o
mkdir -p ../bin/x86_64/linux/release
cp bandwidthTest ../bin/x86_64/linux/release
sabiq@ahmad-sabiq:~/kudaku/cuda-samples/Samples/matrixMul$ ls
bandwidthTest      bandwidthTest_vs2015.sln
bandwidthTest.cu   bandwidthTest_vs2015.vcxproj
bandwidthTest.o    bandwidthTest_vs2017.sln
bandwidthTest_vs2012.sln  bandwidthTest_vs2017.vcxproj
bandwidthTest_vs2012.vcxproj  Makefile
bandwidthTest_vs2013.sln  NighthEclipse.xml
bandwidthTest_vs2013.vcxproj  README.md
```

Gambar 9. Proses kompilasi program cuda bandwidthTest

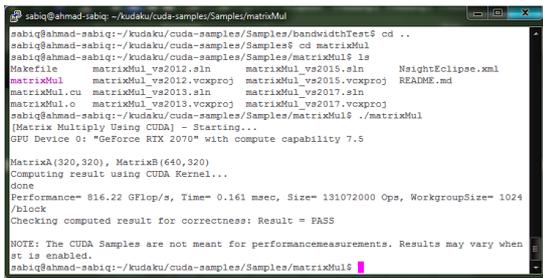
Pada gambar 10, ditunjukkan bahwa program telah dapat berhasil dijalankan menggunakan perangkat GPU GeForce RTX 2070 dengan kecepatan transfer 3 GB/s.

```
sabiq@ahmad-sabiq:~/kudaku/cuda-samples/Samples/matrixMul
sabiq@ahmad-sabiq:~/kudaku/cuda-samples/Samples/matrixMul$ ./bandwidthTest
[CUDA Bandwidth Test] - Starting...
Running on...
Device 0: GeForce RTX 2070
Quick Mode
Host to Device Bandwidth, 1 Device(s)
PINNED Memory Transfers      Bandwidth (GB/s)
Transfer Size (Bytes)        32000000      3.0
Device to Host Bandwidth, 1 Device(s)
PINNED Memory Transfers      Bandwidth (GB/s)
Transfer Size (Bytes)        32000000      3.3
Device to Device Bandwidth, 1 Device(s)
PINNED Memory Transfers      Bandwidth (GB/s)
Transfer Size (Bytes)        32000000      376.8
Result = PASS
NOTE: The CUDA Samples are not meant for performance measurements. Results may vary when GPU Boost is enabled.
sabiq@ahmad-sabiq:~/kudaku/cuda-samples/Samples/matrixMul$ cd ..
```

Gambar 10. Hasil Komputasi bandwidthTest

Pada gambar 11 ditunjukkan juga proses kompilasi dan hasil dari proses komputasi perkalian matriks yang berukuran 320x320 yang dikalikan dengan matriks berukuran 640x320. Performa yang didapatkan dari GPU untuk melakukan komputasi tersebut adalah 816.22 GFlop/s, dan waktu yang

digunakan untuk melakukan komputasi adalah 0.161 msec.



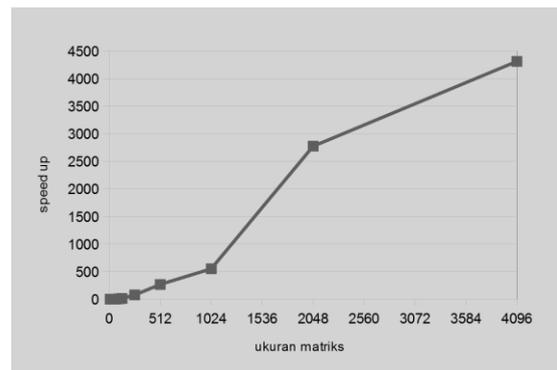
Gambar 11. proses kompilasi dan hasil dari komputasi perkalian matrix menggunakan GPU

Untuk mendapatkan nilai performa dari sistem yang dibangun, dilakukan pengujian perkalian matriks dengan ukuran 8x8 dikalikan dengan matriks berukuran 8x8 hingga perkalian matriks berukuran 4096x4096 dikali 4096x4096. Pengujian dilakukan dengan menjalankan program yang menghitung perkalian matriks yang dikomputasikan menggunakan CPU dan juga GPU untuk mendapatkan *running time* atau waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perhitungan perkalian matriks pada setiap ukuran. Hasil *running time* yang didapat dari komputasi menggunakan CPU dan GPU pada setiap ukuran matriks dibandingkan untuk mendapatkan nilai peningkatan kecepatan yang didapatkan dari komputasi yang menggunakan CPU ke komputasi menggunakan GPU, seperti yang ada pada tabel 3 dan grafik yang ada pada gambar 12.

Tabel 3. Hasil Pengujian Perkalian Matrix pada CPU dan GPU

ukuran matriks	running time GPU (detik)	running time CPU (detik)	Peningkatan kecepatan
8x8	0,317344	0,004704	0,0148230312
16x16	0,3288	0,004448	0,0135279805
32x32	0,321536	0,067872	0,2110867834
48x48	0,322144	0,228448	0,7091487037
52x52	0,332896	0,293152	0,8806113621
56x56	0,337376	0,362624	1,322144
64x64	0,338944	0,541312	1,5970543807
96x96	0,361376	1,940416	5,3695209422
128x128	0,387157333	5,044064	13,028559365
256x256	0,62512	47,3595086667	75,80194001
512x512	1,90693333	509,642415333	267,2629444559
1024x1024	7,528202667	4141,644857	550,1547035667
2048x2048	38,453696	106646,440104	2773,3667844453
4096x4096	217,4890693	937751,291667	4312,7511196101

Dari hasil pengujian perkalian matriks yang telah dilakukan, komputasi menggunakan CPU lebih cepat pada matriks berukuran 52x52 dan yang berukuran lebih kecil, dibandingkan dengan komputasi yang menggunakan GPU. Sedangkan pada matriks berukuran 56x56 dan yang lebih besar, kecepatan komputasi GPU yang didapat lebih cepat dibandingkan CPU. Pada perkalian matriks berukuran 4096x4096, kecepatan GPU 4312,75 kali lebih cepat dibandingkan dengan CPU.



Gambar 12. Grafik peningkatan kecepatan komputasi GPU disbanding CPU

Peningkatan komputasi untuk pengolahan data menggunakan GPU yang didapatkan dari hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem komputasi paralel berbasis NVIDIA CUDA dapat digunakan untuk melakukan komputasi dengan data-data yang besar dan banyak, agar dapat mempersingkat waktu eksekusi program. Sedangkan untuk komputasi yang menggunakan data berukuran kecil dan sedikit, tidak disarankan untuk menggunakan sistem komputer berbasis NVIDIA CUDA ini, karena waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan program dapat lebih lama dibandingkan saat dieksekusi pada komputer pada umumnya yang berbasis CPU.

## 5. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dibangun sistem komputasi paralel berbasis GPU dengan GPU NVIDIA menggunakan GForce

RTX2070. Dari hasil pengujian, sistem ini dapat digunakan secara remote melalui LAN untuk menjalankan komputasi paralel menggunakan GPU. Komputasi data menggunakan GPU membutuhkan waktu komputasi yang lebih singkat dibandingkan dengan CPU untuk data yang berukuran besar. Sedangkan pada data yang berukuran kecil, komputasi menggunakan CPU membutuhkan waktu yang lebih singkat dibandingkan menggunakan GPU.

#### DAFTAR PUSTAKA

- B, Blaise dan L, Lawrance “*What is Parallel Computing?*” [online]. Diakses dari [https://computing.llnl.gov/tutorials/parallel\\_comp/](https://computing.llnl.gov/tutorials/parallel_comp/) pada 25 April 2018.
- Calì, M., & Di Mauro, V. “Performance Analysis of Roberts Edge Detection Using CUDA and OpenGL”. Proceedings of the International Symposium for Young Scientists in Technology, Engineering and Mathematics. pp. 55–62, 2016
- Koprawi, M, T.B. Adji, and D. Adhipta. "Analisis Performa Komputasi Paralel GPU Menggunakan PYCUDA dan PYOPENCL dengan Komputasi Serial CPU pada Citra Digital." The 9th National Conference on Information Technology and Electrical Engineering 2017.
- M. A. Gray, “Getting started with gpu programming,” *Comput. Sci. Eng.*, vol. 11, no. 4, pp. 61–64, 2009.
- WANG, Kai; SHEN, Zhen. Artificial societies and GPU-based cloud computing for intelligent transportation management. *IEEE Intelligent Systems*, 2011, 26.4: 22-28.
- Walters, John Paul, dkk. "GPU passthrough performance: A comparison of KVM, Xen, VMWare ESXi, and LXC for CUDA and OpenCL applications." *Cloud Computing (CLOUD)*, 2014 IEEE 7th International Conference on. IEEE, 2014.
- X. Wang, X. Li, M. Zou, and J. Zhou, “AES finalists implementation for GPU and multi-core CPU based on OpenCL,” 2011, pp. 38–42