



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PR 2 KAJIAN BAHASA PEMROGRAMAN PARALEL**

**LAPORAN TUGAS PEMROGRAMAN PARALEL**

**KELOMPOK III**

**Muhammad Fathurachman 1506706276**

**Otniel Yosi Viktorisa 1506706295**

**Yohanes Gultom 1506706345**

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER**

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU KOMPUTER**

**DEPOK**

**MEI 2016**

# DAFTAR ISI

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Daftar Isi</b>   | <b>ii</b> |
| <b>Daftar Gambar</b>  | <b>iv</b> |
| <b>Daftar Tabel</b>   | <b>v</b>  |
| <b>1 LINGKUNGAN PERCOBAAN</b>                                 | <b>1</b>  |
| <b>2 R</b>  | <b>2</b>  |
| 2.1 Pendahuluan . . . . .                                     | 2         |
| 2.2 Fitur Bahasa R . . . . .                                  | 2         |
| 2.3 Instalasi Bahasa R . . . . .                              | 3         |
| 2.3.1 Instalasi Bahasa R pada Linux . . . . .                 | 3         |
| 2.3.2 Instalasi Bahasa R pada Windows . . . . .               | 3         |
| 2.3.3 Instalasi Package Bahasa R . . . . .                    | 3         |
| 2.4 Komputasi Paralel pada Bahasa R . . . . .                 | 5         |
| 2.4.1 Komputasi Paralel dengan GPU pada Bahasa R . . . . .    | 10        |
| 2.4.2 CUDA pada Bahasa R . . . . .                            | 12        |
| 2.4.2.1 Membuat Interface . . . . .                           | 12        |
| 2.4.2.2 Compile dan Hubungkan Shared Object . . . . .         | 14        |
| 2.4.2.3 Menggunakan Shared Object . . . . .                   | 14        |
| 2.4.2.4 Eksekusi dan Tes . . . . .                            | 14        |
| <b>3 OPENCL</b>   | <b>16</b> |
| 3.1 Pendahuluan . . . . .                                     | 16        |
| 3.1.1 Instalasi . . . . .                                     | 16        |
| 3.1.2 Struktur Program . . . . .                              | 18        |
| 3.1.3 Perbandingan Terminologi dengan CUDA . . . . .          | 19        |
| 3.1.4 Library BLAS . . . . .                                  | 21        |
| 3.1.5 Eksperimen . . . . .                                    | 23        |
| 3.1.5.1 Device Query . . . . .                                | 23        |
| 3.1.5.2 Single-Precision AX Plus Y (SAXPY) . . . . .          | 24        |
| 3.1.5.3 Perkalian Matriks Bujursangkar . . . . .              | 25        |
| 3.1.5.4 Gaussian Filter Blurring pada Gambar Bitmap . . . . . | 26        |

|                         |           |
|-------------------------|-----------|
|                         | iii       |
| <b>4 KONTRIBUSI</b>     | <b>28</b> |
| <b>Daftar Referensi</b> | <b>29</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 2.1 | Tampilan pada <i>command line</i> . . . . .                                  | 3  |
| 2.2 | Cara melakukan instalasi package genetic menggunakan RStudio . .             | 5  |
| 2.3 | Cara melakukan import package yang telah dipasang . . . . .                  | 5  |
| 2.4 | Daftar package yang telah terinstal pada lingkungan R . . . . .              | 5  |
| 2.5 | Contoh package yang mendukung komputasi paralel [5] . . . . .                | 6  |
| 2.6 | Perbandingan program sekuensial dengan paralel . . . . .                     | 9  |
| 2.7 | Skema akses bahasa R terhadap GPU . . . . .                                  | 10 |
| 2.8 | Hasil eksperimen . . . . .   | 15 |
| 3.1 | Cara pemanggilan <code>clblasSgemv</code> pada <code>clBLAS</code> . . . . . | 22 |
| 3.2 | Kinerja library BLAS pada OpenCL . . . . .                                   | 23 |
| 3.3 | Program untuk mendapatkan informasi platform dan device OpenCL               | 24 |
| 3.4 | Program SAXPY 1024 elemen . . . . .  | 25 |
| 3.5 | Perbandingan perkalian matriks bujursangkar OpenCL dengan CUDA               | 26 |
| 3.6 | Proses Gaussian Filter Blurring pada gambar . . . . .                        | 26 |
| 3.7 | Kinerja Gaussian Blurring CPU vs GPU . . . . .                               | 27 |

## DAFTAR TABEL

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 2.1 | Contoh Package . . . . .                           | 4  |
| 2.2 | Contoh Fungsi pada Parallel [6] . . . . .          | 7  |
| 2.3 | Daftar Package yang mendukung fungsi GPU . . . . . | 11 |
| 3.1 | Terminologi Perangkat Keras . . . . .              | 19 |
| 3.2 | Qualifiers untuk fungsi Kernel . . . . .           | 20 |
| 3.3 | Indeks pada Kernel . . . . .                       | 20 |
| 3.4 | Pemanggilan API . . . . .                          | 21 |

# **BAB 1**

## **LINGKUNGAN PERCOBAAN**

Eksperimen yang dilakukan pada kajian ini menggunakan laptop/personal PC dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Notebook Core i7 5500U
  - RAM 8 GB, GPU NVIDIA 940M, SSD 250GB
  - Sistem operasi Ubuntu 15.10 (64-bit)
  - Driver NVIDIA 352
  - CUDA 7.5.3
  - NVIDIA OpenCL 1.2
  - GCC & G++ 4.9.3

Sedangkan kode program dari eksperimen OpenCL dapat diakses pada *public repository* <https://github.com/yohanesgultom/parallel-programming-assignment/tree/master/PR2>

## BAB 2

### R

#### 2.1 Pendahuluan

Bahasa pemrograman R adalah salah satu bahasa pemrograman yang digunakan untuk komputasi statistik dan grafis banyak digunakan oleh *datascientis* untuk membuat *software* untuk mengolah data. R dibuat oleh Ross Ihaka dan Robert Gentleman di University of Auckland. Nama R kemudian diambil dari huruf pertama dari dua pembuat R. Pada bahasa R terdapat *library* statistik seperti linear dan non-linear model, *classification*, *time-series analysis*, dan lain-lain. Selain itu, R didesain agar pengguna mudah dalam memberikan kontribusi bagi pengembangannya, di mana pengguna dapat membuat *package* yang dapat digunakan oleh komunitas R lainnya. R didukung oleh banyak *package repository* yang digunakan untuk data manipulasi, perhitungan, dan visualisasi. Dalam suatu *package* terdapat fungsi-fungsi untuk memproses data, penyimpanan, operator untuk menghitung *array* atau matriks. Bahasa R juga dilengkapi dengan fungsi-fungsi dasar pemrograman lainnya seperti perulangan, rekursif, percabangan dan lain-lain.

#### 2.2 Fitur Bahasa R

Bahasa R didukung oleh berbagai fitur diantaranya adalah :

- *Interpreted language* (dapat dioperasikan menggunakan *command line*).
- Dukungan terhadap beberapa jenis struktur data seperti vektor, matriks, *array*, dan *data frame* yang merupakan struktur data menyerupai matriks yang mampu menyimpan data dengan tipe yang berbeda.
- Mendukung fungsi pemrograman prosedural dan berorientasi obyek.
- Memiliki performa komputasi statistik yang setara dengan Matlab dan Octave.
- Didukung dengan IDE, beberapa yang populer adalah Rstudio dan Visual Studio.

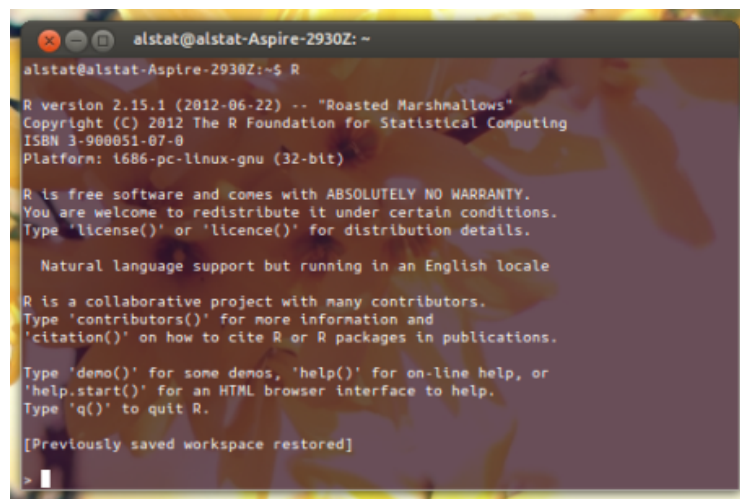
## 2.3 Instalasi Bahasa R

### 2.3.1 Instalasi Bahasa R pada Linux

Untuk menginstal Bahasa Pemrograman R pada Linux cukup dengan menuliskan perintah pada terminal seperti berikut

```
$ sudo apt-get install r-base
$ sudo apt-get install r-base-dev #R yang dilengkapi dengan
  compiler
```

Jika proses instalasi telah selesai, pada terminal Linux, silahkan mengetikkan command R untuk memulai menulis program R.



**Gambar 2.1:** Tampilan pada *command line*

Untuk menggunakan IDE Rstudio pada Ubuntu, RStudio dapat diunduh pada situs <https://www.rstudio.com> dan diinstal pada Ubuntu.

### 2.3.2 Instalasi Bahasa R pada Windows

Untuk Bahasa R pada Windows, Silahkan unduh berkas instalasi pada situs <https://cran.r-project.org/bin/windows/base/> dan instal R-3.x.x-win.exe sebagaimana menginstal *software* seperti biasa.

### 2.3.3 Instalasi Package Bahasa R

*Packages* pada R berisi fungsi-fungsi komputasi statistik tertentu, fungsi grafik, analisa, dan lain-lain yang ditulis menggunakan bahasa R dan dapat juga diintegrasikan dengan bahasa pemrograman lainnya seperti Java, C, C++, FORTRAN. Jumlah

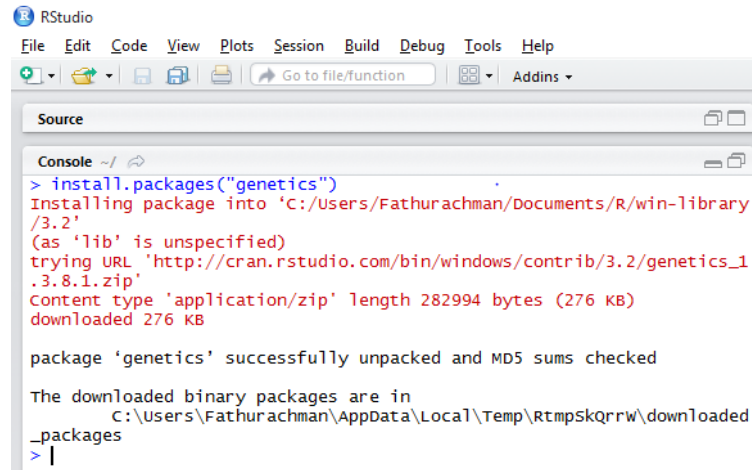


*package* yang terdapat pada repository CRAN adalah 7.801 (Januari 2016). Dengan jumlah *package* yang sangat besar dan bervariasi, CRAN repository memiliki beberapa *task* atau idag agar mempermudah pengguna dalam memilih dan menggunakan *package* yang sesuai dengan pekerjaannya.

**Tabel 2.1:** Contoh Package

| Task                      | Keterangan                                | Contoh nama package                                     |
|---------------------------|---|---|
| ChemPhys                  | Chemometrics and Computational Physic     | chemCal,simecol, investr,CHNOSZ                         |
| MachineLearning           | Machine Learning and Statistical Learning | Caret, rpart, nnet, LogicReg,grpLasso                   |
| MedicalImaging            | Medical Image Analysis                    | Dti, tractor.base, DATforDCEMRI, brainwaver,AnalyzeFMRI |
| NaturalLanguageProcessing | Natural Language Processing               | openNLP,SnowballC,stringi, KoNLP, languageR             |
| HighPerformanceComputing  | High Performance Computing                | Snow, Rhpc, Rmpi, doRNG,gputools, cudaBayesReg          |

Cara memasang *package* yang ingin diinstal pada bahasa R, yaitu dengan mengetikkan sintaks “**install.packages(“\_nama\_package\_”)**” pada *command line* R, atau dapat juga dengan mengunduh *file package* terlebih dahulu dan dengan perintah **install.packages(“directory\_package”)**, tunggu hingga proses instalasi selesai. Setelah proses instalasi, selesai untuk memanggil *package* yang telah terpasang,gunakan perintah **library(\_nama\_package\_)**, maka fungsi-fungsi yang terdapat pada package tersebut sudah dapat digunakan.



```

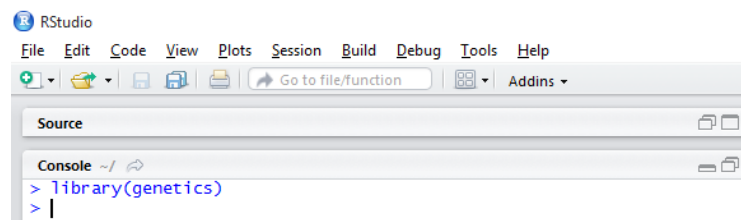
RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Tools Help
Source
Console ~/
> install.packages("genetics")
Installing package into 'C:/Users/Fathurachman/Documents/R/win-library/3.2'
(as 'lib' is unspecified)
trying URL 'http://cran.rstudio.com/bin/windows/contrib/3.2/genetics_1.3.8.1.zip'
Content type 'application/zip' length 282994 bytes (276 KB)
downloaded 276 KB

package 'genetics' successfully unpacked and MD5 sums checked

The downloaded binary packages are in
C:\Users\Fathurachman\AppData\Local\Temp\RtmpSkQrrw\downloaded_packages
> |

```

**Gambar 2.2:** Cara melakukan instalasi package genetic menggunakan RStudio

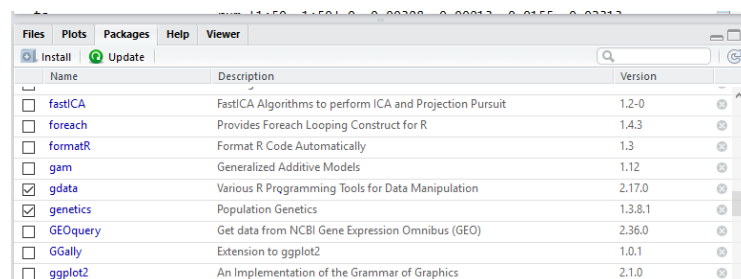


```

RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Tools Help
Source
Console ~/
> library(genetics)
> |

```

**Gambar 2.3:** Cara melakukan import package yang telah dipasang



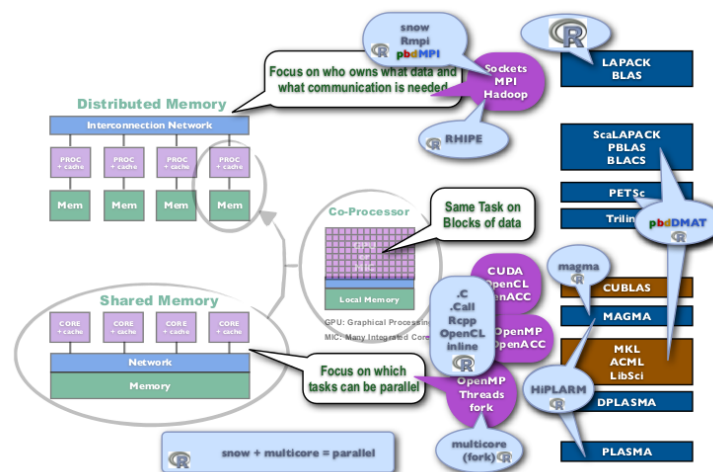
| Name   | Description  | Version |
|--|--|---------|
| <input type="checkbox"/> fastICA             | FastICA Algorithms to perform ICA and Projection Pursuit | 1.2-0   |
| <input type="checkbox"/> foreach             | Provides Foreach Looping Construct for R                 | 1.4.3   |
| <input type="checkbox"/> formatR             | Format R Code Automatically                              | 1.3     |
| <input type="checkbox"/> gam                 | Generalized Additive Models                              | 1.12    |
| <input checked="" type="checkbox"/> gdata    | Various R Programming Tools for Data Manipulation        | 2.17.0  |
| <input checked="" type="checkbox"/> genetics | Population Genetics                                      | 1.3.8.1 |
| <input type="checkbox"/> GEOquery            | Get data from NCBI Gene Expression Omnibus (GEO)         | 2.36.0  |
| <input type="checkbox"/> GGally              | Extension to ggplot2                                     | 1.0.1   |
| <input type="checkbox"/> ggplot2             | An Implementation of the Grammar of Graphics             | 2.1.0   |

**Gambar 2.4:** Daftar package yang telah terinstal pada lingkungan R

## 2.4 Komputasi Paralel pada Bahasa R

Pada dasarnya dalam suatu eksperimen komputasi dibutuhkan suatu proses yang berulang-ulang, hal ini dapat didekati menggunakan fungsi *for loop* pada R. Namun jika terdapat komputasi dengan melibatkan data dan proses yang besar, maka komputasi tersebut akan memakan waktu yang sangat lama dan fungsi *for loop* akan terlihat sangat lama. Dengan menggunakan fungsi komputasi paralel pada bahasa R yaitu memanfaatkan jumlah *core* yang terdapat pada komputer, maka proses komputasi dapat dibagi kepada setiap core processor dan dieksekusi secara paralel untuk

menekan waktu komputasi. Secara Default, R tidak memproses suatu komputasi secara paralel, untuk mengeksekusi suatu proses secara paralel, jumlah core yang tersedia harus didefinisikan dan di daftarkan pada R untuk dibuat suatu kumpulan *cluster* agar setiap proses yang dibagi dapat kirim kepada tiap *cluster*. Untuk memfasilitasi hal ini, terdapat beberapa *package* yang secara efisien mendukung proses paralel. Namun banyak *package* komputasi paralel tidak dapat berjalan di Windows.



**Gambar 2.5:** Contoh package yang mendukung komputasi paralel [5]

Salah satu *package* untuk komputasi paralel adalah *package* “**parallel**” yang disertakan sejak R versi 2.14. *Package* “**parallel**” merupakan gabungan dari “**multicore**” yang digunakan pada komputasi paralel dengan *shared memory* dan “**snow**” yang digunakan untuk komputasi paralel dengan *distributed memory*.

**Tabel 2.2:** Contoh Fungsi pada Parallel [6]

| Fungsi              | Deskripsi                                      | Contoh   |
|---------------------|--|--|
| detectCores         | Mengetahui jumlah inti dari CPU                | ncores ;- detectCores()  |
| mclapply            | Versi paralel lapply (shared memory)           | mclapply(1:5, runif, mc.cores = ncores)                        |
| makeCluster         | Memulai cluster                                | cl <- makeCluster(10, type="MPI")                              |
| clusterSetRNGStream | Set seed pada cluster                          | clusterSetRNGStream(cl, 321)                                   |
| clusterExport       | Export variable kepada worker                  | clusterExport(cl, list(a=1:10, x=runif(10)))                   |
| clusterEvalQ        | Evaluasi ekspresi pada worker                  | clusterEvalQ(cl, x <- 1:3<br>myFun <- function(x)<br>runif(x)) |
| clusterCall         | Memanggil fungsi pada semua worker             | clusterCall(cl, function(y) 3 + y, 2)                          |
| parLapply           | Versi paralel dari lapply (distributed memory) | parLapply(cl, 1:100, Sys.sleep)                                |
| parLapplyLB         | parLapply dengan load balancing                | parLapplyLB(cl, 1:100, Sys.sleep)                              |
| stopCluster         | Menghentikan cluster                           | stopCluster(cl)  |

*Package “forEach” merupakan package yang digunakan untuk komputasi paralel dengan menyediakan single interface untuk beberapa jenis backend, salah satunya adalah “doParallel”.*

Contoh “forEach” menggunakan “multicore” *shared memory*

```
library(doParallel)
registerDoParallel(cores=ncores)
foreach(i=1:2) %dopar% Sys.getpid()
```

Contoh “forEach” menggunakan “snow” *distributed memory*

```
library(doParallel)
cl <- makeCluster(ncores)
registerDoParallel(cl=cl)
foreach(I=1:2) %dopar% Sys.getpid()
stopCluster(cl)
```

Untuk membuat proses paralel pada suatu komputasi dapat mengikuti petunjuk dari code dibawah ini

```
library(doParallel)
# Menampilkan Jumlah Core yang terdapat pada Komputer
detectCores()
## [1] 4
# Membuat Cluster cl dengan jumlah cluster sebanyak 3
cl <- makeCluster(3)
# Melakukan Registrasi Cluster sebagai Backend
registerDoParallel(cl)
# Menampilkan Jumlah Prosessor yang digunakan untuk komputasi
paralel
getDoParWorkers()
## [1] 3
```

Prinsip kerja komputasi paralel, membagi masalah menjadi sub-masalah, lakukan eksekusi terhadap setiap sub-masalah secara paralel, kemudian menggabungkan setiap hasil eksekusi. Berikut adalah contoh potongan program secara sekuensial.

```
#Number of iteration
iters <- 100000
#vector for appending output
ls <-vector('list', length = iters)
start <- Sys.time()
#loop
for (i in 1:iters) {
  #Counter
  #cat(i, '\n')
  to.ls<-rnorm(1e6)
  to.ls<-summary(to.ls)
  ls[[i]]<-to.ls
}
#End time
print(Sys.time()-start)
```

Dan perbandingannya dengan program secara paralel.

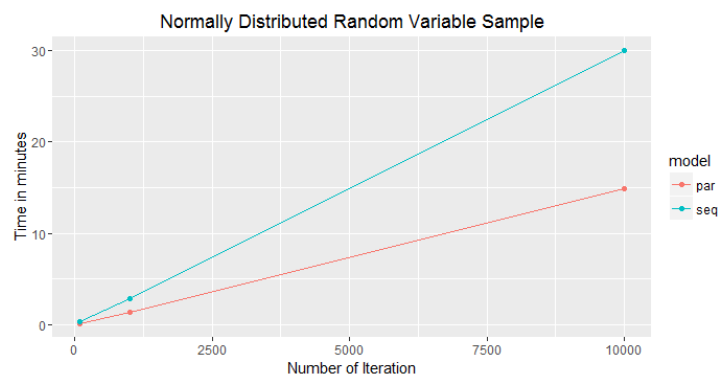
```
iters <-10000
#setup parallel backend to use 3 processors
cl<-makeCluster(3)
registerDoParallel(cl)
#start time
strt<-Sys.time()
#loop
ls<-foreach(icount(iters)) %dopar% {
```

```

to.ls<-rnorm(1e6)
to.ls<-summary(to.ls)
to.ls
}
print(Sys.time()-strt)
stopCluster(cl)

```

Pada potongan secara sequential dan paralel, proses yang dilakukan adalah membagi sampel data dengan jumlah 1.000.000 data, secara distribusi normal. Yang diulang sebanyak 100000 iterasi. Terlihat bahwa pada proses sequential, hanya menggunakan fungsi for loop, sedangkan pada proses paralel terlebih dahulu dibuat cluster sebanyak 3, kemudian pada proses melakukan sampel data, proses tersebut dilakukan secara paralel. Syntax **%dopar%** mengindikasikan bahwa code selanjutnya akan dikerjakan secara paralel yang dikirimkan kepada tiap cluster. Perbandingan yang dilakukan yaitu melihat hubungan antara proses yang dilakukan dan waktu yang dibutuhkan. Hasil dari eksekusi program diatas dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.6:** Perbandingan program sekuensial dengan paralel

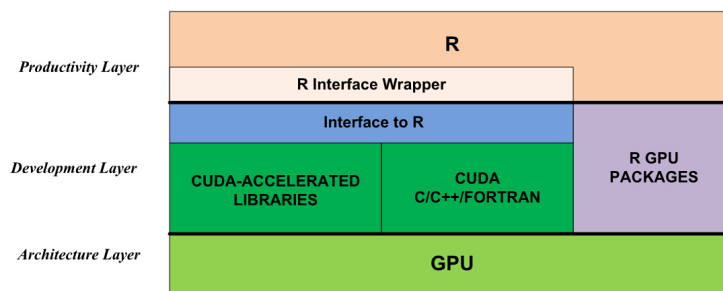
Dari hasil Eksekusi diatas terlihat bahwa terjadi speed up 2 kali lipat terhadap proses paralel. Khusus pada komputasi paralel pada R, terdapat dua jenis package yang mendukung proses paralel, tipe pertama adalah package dengan paralel implisit yang setiap fungsinya telah mendukung proses paralel, artinya ketika menggunakan fungsi pada package tersebut, maka proses paralel akan dilakukan tanpa pengguna terlebih dahulu membuat cluster dari jumlah core yang tersedia. Tipe yang kedua adalah package paralel secara eksplisit, dimana proses paralel harus didefinisikan terlebih dahulu, dengan menentukan jumlah cluster, serta problem dan proses yang akan dieksekusi secara paralel.

### 2.4.1 Komputasi Paralel dengan GPU pada Bahasa R

GPU atau Graphical Processing Unit, adalah merupakan single-chip processor yang melakukan komputasi khusus untuk aplikasi 3D. Berbeda dengan CPU yang hanya memiliki beberapa core pada satu chip, GPU memiliki ratusan-bahkan ribuan core dalam satu chip. Karena sebagian besar proses komputasi pada GPU mencakup operasi vektor dan matriks, maka GPU dapat digunakan untuk mengeksekusi proses lain yang berbeda dengan pemrosesan pada graphics. Dalam hal ini GPU digunakan untuk melakukan komputasi non-graphical process, seperti menjalankan algoritma, komputasi FFT, persamaan linear.

Untuk mengakses GPU menggunakan R, terdapat dua cara yaitu :

- Menggunakan package yang tersedia oleh CRAN.
- Mengakses GPU melalui CUDA Library / CUDA Accelerated Programming Language C, C++, FORTRAN.



**Gambar 2.7:** Skema akses bahasa R terhadap GPU

Untuk menggunakan package yang mendukung komputasi GPU dapat menggunakan package pada tabel berikut.

**Tabel 2.3:** Daftar Package yang mendukung fungsi GPU

| Nama Package | Keterangan  |
|--------------|---|
| gputools     | Package yang menyediakan fungsi-fungsi algoritma data mining yang diintegrasikan dengan library CUDA dan CUBLAS, dengan didukung oleh Nvidia GPU, akan menghasilkan komputasi yang efisien. |
| cudabayesReg | Package yang menyediakan fungsi rhierLinearModel dari package bayesm menggunakan library CUDA untuk mendukung High Performance Statistical Analysis dari FMRI Voxels                        |
| gcbd         | Package menggunakan standar library BLAS dan GPU  |
| OpenCL       | Package yang menyediakan Interface dari R OPEN CL   |
| HiPLARM      | Package yang menyediakan fungsi Linear Algebra yang mendukung multicore / GPU menggunakan library PLASMA/MAGMA  |
| gmatrix      | Package yang menyediakan fungsi operasi matriks dan vektor menggunakan GPU  |
| gpuR         | Menyediakan fungsi untuk mengakses GPU dan VCL untuk memproses objek pada R seperti matrik dan vektor tanpa menggunakan bahasa Open CL  |
| rgpu         | Package yang menyediakan fungsi untuk mempercepat proses analisis pada Bioinformatics menggunakan GPU   |

Contoh program R menggunakan GPU :

```
library(gputools)
gpu.matmult <- function(n) {
  A <- matrix(runif(n * n), n ,n)
  B <- matrix(runif(n * n), n ,n)
  tic <- Sys.time()
  C <- A %*% B
  toc <- Sys.time()
  comp.time <- toc - tic
  cat("CPU: ", comp.time, "\n")
  tic <- Sys.time()
  C <- gpuMatMult(A, B)
  toc <- Sys.time()
```



```

comp.time <- toc - tic
cat("GPU: ", comp.time, "\n")
}

```

Simulasi program diatas menggunakan *package* gputools, dengan melakukan deklarasi fungsi untuk melakukan perkalian matriks. Fungsi tersebut memberikan keluaran berupa hasil waktu CPU dan GPU yang dibutuhkan untuk melakukan perkalian matriks. Dengan menggunakan fungsi `gpuMatMul(A,B)` pada *package* gputools, proses perkalian matriks A dan B dilakukan dengan menggunakan GPU.

Hasil eksekusi program terlihat bahwa, untuk ukuran matriks yang kecil, CPU melakukan komputasi lebih baik dari GPU, namun untuk ukuran matriks yang lebih besar dari 2000, maka terlihat GPU jauh lebih cepat dibandingkan CPU.

## 2.4.2 CUDA pada Bahasa R

Mengakses GPU dengan menggunakan *library* CUDA dengan mengintegrasikan menggunakan bahasa C, pastikan bahwa pada komputer anda dilengkapi dengan hardware GPU Nvidia, dan telah terinstal CUDA. Langkah-Langkah untuk menggunakan *library* CUDA adalah sebagai berikut :

- Membuat *interface* sebagai penghubung antara R dan *library* CUDA.
- *Compile* dan membuat *link shared object*. *Shared object* berisi fungsi-fungsi pada bahasa C yang akan diakses oleh R.
- *Load shared object*.
- Eksekusi dan tes.

### 2.4.2.1 Membuat Interface

```

#include
#include <cuFFT.h>
/* This function is written for R to compute 1D FFT.
   n - [IN] the number of complex we want to compute
   inverse - [IN] set to 1 if use inverse mode
   h_idata_re - [IN] input data from host (R, real part)
   h_idata_im - [IN] input data from host (R, imaginary part)
   h_odata_re - [OUT] results (real) allocated by caller
   h_odata_im - [OUT] results (imaginary) allocated by caller
*/
extern "C"
void cufft(int *n, int *inverse, double *h_idata_re,

```

```

        double *h_idata_im , double *h_odata_re , double *
        h_odata_im)
{
    cufftHandle plan;
    cufftDoubleComplex *d_data , *h_data;
    cudaMalloc((void**)&d_data , sizeof(cufftDoubleComplex)*(*n));
    h_data = (cufftDoubleComplex *) malloc(sizeof(cufftDoubleComplex
    ) * (*n));

    // Convert data to cufftDoubleComplex type
    for(int i=0; i< *n; i++) {
        h_data[i].x = h_idata_re[i];
        h_data[i].y = h_idata_im[i];
    }

    cudaMemcpy(d_data , h_data , sizeof(cufftDoubleComplex) * (*n),
        cudaMemcpyHostToDevice);
    // Use the CUFFT plan to transform the signal in place.
    cufftPlan1d(&plan , *n, CUFFT_Z2Z, 1);
    if (!*inverse ) {
        cufftExecZ2Z(plan , d_data , d_data , CUFFT_FORWARD);
    } else {
        cufftExecZ2Z(plan , d_data , d_data , CUFFT_INVERSE);
    }

    cudaMemcpy(h_data , d_data , sizeof(cufftDoubleComplex) * (*n),
        cudaMemcpyDeviceToHost);
    // split cufftDoubleComplex to double array
    for(int i=0; i<*n; i++) {
        h_odata_re[i] = h_data[i].x;
        h_odata_im[i] = h_data[i].y;
    }

    // Destroy the CUFFT plan and free memory.
    cufftDestroy(plan);
    cudaFree(d_data);
    free(h_data);
}

```

*Interface* diatas memasukan *header file* R.h dan cufft.h. ditambahkan dengan fungsi cufft untuk melakukan proses Fast Fourier Transform dengan menggunakan CUDA. Sintaks extern C membuat fungsi pada *interface* ini dapat diakses melalui R. Fungsi tersebut menerima 4 argumen masukan dan 2 keluaran yang hasil kom-

putasinya akan dikembalikan pada R.

#### 2.4.2.2 Compile dan Hubungkan Shared Object

Setelah menulis sebuah *interface*, langkah selanjutnya adalah mengcompile *interface* tersebut agar dapat digunakan oleh R, sesuai dengan contoh dibawah ini.

```
nvcc -O3 -arch=sm_35 -G -I/usr/local/cuda/r65/include
      -I/home/patricz/tools/R-3.0.2/include/
      -L/home/patricz/tools/R/lib64/R/lib -lR
      -L/usr/local/cuda/r65/lib64 -lcufft
      --shared -Xcompiler -fPIC -o cufft.so cufft-R.cu
```

#### 2.4.2.3 Menggunakan Shared Object

Untuk menggunakan *shared object* yang telah dibuat melalui *interface*, maka dapat dibuat sebuah fungsi pada R untuk mengakses *shared object* tersebut, seperti dibawah ini.

```
cufft1D <- function(x, inverse=FALSE)
{
  if(!is.loaded("cufft")) {
    dyn.load("cufft.so")
  }
  n <- length(x)
  rst <- .C("cufft",
    as.integer(n),
    as.integer(inverse),
    as.double(Re(z)),
    as.double(Im(z)),
    re=double(length=n),
    im=double(length=n))
  rst <- complex(real = rst[["re"]], imaginary = rst[["im"]])
  return(rst)
}
```

Fungsi R diatas memanggil file *shared object* cufft.so yang akan digunakan pada R. Sintaks `.C(cufft,...)` yaitu memanggil fungsi cufft pada *shared object* untuk digunakan operasi Fast Fourier Transform.

#### 2.4.2.4 Eksekusi dan Tes

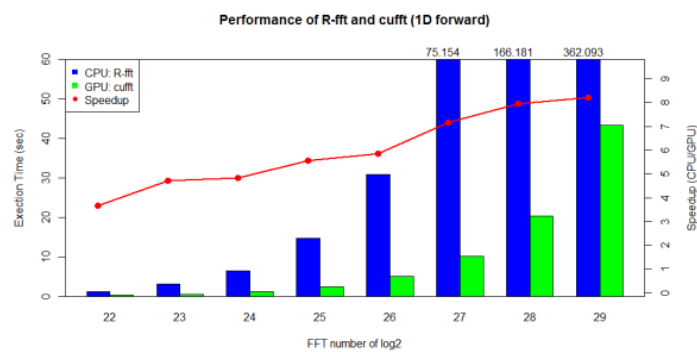
```
source("wrap.R")
> num <- 4
> z <- complex(real = stats::rnorm(num), imaginary = stats::rnorm(
  num))
```

```

> cpu <- fft(z)
[1] 1.140821-1.352756i -3.782445-5.243686i 1.315927+1.712350i
     -0.249490+1.470354i
> gpu <- cufft1D(z)
[1] 1.140821-1.352756i -3.782445-5.243686i 1.315927+1.712350i
     -0.249490+1.470354i
> cpu <- fft(z, inverse=T)
[1] 1.140821-1.352756i -0.249490+1.470354i 1.315927+1.712350i
     -3.782445-5.243686i
> gpu <- cufft1D(z, inverse=T)
[1] 1.140821-1.352756i -0.249490+1.470354i 1.315927+1.712350i
     -3.782445-5.

```

Hasil yang terlihat diatas, bahwa perhitungan CPU dan GPU menghasilkan waktu yang sama. Namun jika menggunakan hardware yang berbeda, maka akan terlihat perbedaan yang signifikan.



**Gambar 2.8:** Hasil eksperimen

Fungsi R dijalankan pada 8-core Intel Xeon CPU (E5-2609 @ 2.40GHz / 64GB RAM) dan NVIDIA GPU (Tesla K20Xm with 6GB device memory ) terlihat bahwa cufft memberikan 3x-8x speedup dibandingkan fungsi FFT pada R.

## BAB 3

### OPENCL

#### 3.1 Pendahuluan

OpenCL *Open Computing Language* merupakan *library General Purpose Graphics Processing Unit* Computing (GPGPU) yang dikembangkan oleh Khronos (yang disponsori oleh Apple). OpenCL juga disebut sebagai sebuah *open standard* untuk pemrograman paralel pada sistem heterogen karena mendukung berbagai vendor GPU (*integrated* maupun *dedicated*) seperti Intel, AMD, NVIDIA, Apple dan ARM.

OpenCL merupakan *library* yang dapat berjalan di kebanyakan sistem karena *kernel* bahasanya merupakan subset dari C++ 14. Selain itu, OpenCL juga telah memiliki *language binding* dari bahasa pemrograman *high-level* seperti Microsoft.Net (NOpenCL dan OpenCL.Net), Erlang dan Python (PyOpenCL).

OpenCL saat ini sudah mencapai versi 2.0 dengan sejarah pengembangan [9] sebagai berikut:

- OpenCL 1.0
  - Model pemrograman dasar
- OpenCL 1.1 and 1.2
  - Teknik manajemen *memory*
  - Kontrol *resources* yang lebih baik
- OpenCL 2.0
  - Memaksimalkan penggunaan kapabilitas baru *hardware*
  - API pemrograman yang lebih baik
  - Kontrol *resources* yang lebih baik

##### 3.1.1 Instalasi

Salah satu kelebihan yang dimiliki OpenCL dibanding *hardware-specific library* seperti NVIDIA CUDA adalah dukungan ke banyak vendor *hardware*. Untuk mencapai hal ini, OpenCL beradaptasi dengan karakteristik instalasi masing-masing

vendor sehingga setiap vendor memiliki prosedur instalasi OpenCL yang berbeda. Berikut daftar tautan panduan instalasi untuk beberapa vendor ternama:

- AMD <http://developer.amd.com/tools-and-sdks/opencl-zone>
- Intel <https://software.intel.com/en-us/intel-opencl>
- NVIDIA <https://developer.nvidia.com/opencl>

Contoh langkah-langkah instalasi OpenCL SDK pada Ubuntu 15.10 64-bit dengan NVIDIA 940M [7] adalah sebagai berikut:

1. Instal *driver* yang disarankan oleh versi Ubuntu 15.10 yaitu NVIDIA *driver* versi 352. Instalasi dapat dilakukan melalui menu *Additional Drivers* atau dengan mengetikkan perintah pada terminal:

```
$ sudo apt-get install nvidia-352
```

2. Setelah itu, instal CUDA dengan mengunduh *repository* CUDA Toolkit versi 7.5 untuk Ubuntu 15.04 (\*.deb) di <https://developer.nvidia.com/cuda-downloads> dan menjalankan perintah berikut di *terminal*:

```
$ sudo dpkg -i cuda-repo-ubuntu1504-7-5-*_amd64.deb
$ sudo apt-get update
$ sudo apt-get install cuda-toolkit
```

Pastikan juga baris-baris ini ada di dalam file `~/.bashrc` (baris terbawah):

```
export CUDA_HOME=/usr/local/cuda-7.5
export LD_LIBRARY_PATH=${CUDA_HOME}/lib64
PATH=${CUDA_HOME}/bin:${PATH}
export PATH
```

Untuk memastikan bahwa driver dan CUDA sudah terinstal sempurna nama GPU (contoh NVIDIA 940M) harus terlihat ketika 2 kelompok perintah ini dipanggil:

Pertama:

```
$ nvidia-smi
```

Kedua:

```
$ cd $CUDA_HOME/samples/1_Utilities/deviceQuery
$ sudo make run
```

3. Terakhir, instal header OpenCL dengan perintah:

```
$ sudo apt-get install nvidia-352-dev nvidia-prime nvidia-modprobe nvidia-opencl-dev
```

### 3.1.2 Struktur Program

Struktur program OpenCL cukup berbeda dengan struktur program CUDA. Perbedaan mendasar adalah adanya proses kompilasi kernel di dalam program OpenCL di mana untuk CUDA proses tersebut tidak perlu dilakukan secara eksplisit pada program. Oleh karena itu, kernel pada program OpenCL biasanya diletakkan di file terpisah dengan ekstensi `*.cl`.

Struktur umum atau langkah-langkah pada program OpenCL adalah sebagai berikut:

1. Memilih *platform* yang tersedia
2. Memilih *device* pada *platform* yang tersedia
3. Membuat *Context*
4. Membuat *command queue*
5. Membuat *memory objects*
6. Membaca file *kernel*
7. Membuat *program object*
8. Mengkompilasi *kernel*
9. Membuat *kernel object*
10. Memasukkan *kernel arguments*
11. Menjalankan *kernel*

12. Membaca *memory object* (hasil proses *kernel*)

13. *Free memory objects*

Contoh program sederhana OpenCL *Single-Precision AX Plus Y* (SAXPY) dapat dilihat pada tautan berikut:

- Program utama <https://github.com/yohanesgultom/parallel-programming-assignment/blob/master/PR2/opencl/saxpy.c>
- Kernel <https://github.com/yohanesgultom/parallel-programming-assignment/blob/master/PR2/opencl/saxpy.cl>

### 3.1.3 Perbandingan Terminologi dengan CUDA

Bagi *programmer* yang sudah terbiasa dengan CUDA, pada bagian ini akan dipaparkan tabel-tabel konversi terminologi antara CUDA dan OpenCL [17]. Dengan tabel-tabel ini diharapkan *programmer* CUDA dapat lebih cepat memahami OpenCL dan mengkonversi program CUDA ke OpenCL.

**Tabel 3.1:** Terminologi Perangkat Keras

| CUDA                       | OpenCL            |
|----------------------------|-------------------|
| Stream Multiprocessor (SM) | CU (Compute Unit) |
| Thread                     | Work-item         |
| Block                      | Work-group        |
| Global Memory              | Global Memory     |
| Constant Memory            | Constant Memory   |
| Shared Memory              | Local Memory      |
| Local Memory               | Private Memory    |



**Tabel 3.2:** Qualifiers untuk fungsi Kernel

| CUDA                               | OpenCL                           |
|------------------------------------|----------------------------------|
| <code>__global__</code> function   | <code>__kernel</code> function   |
| <code>__device__</code> function   | N/A                              |
| <code>__constant__</code> variable | <code>__constant</code> variable |
| <code>__device__</code> variable   | <code>__global</code> variable   |
| <code>__shared__</code> variable   | <code>__local</code> variable    |

**Tabel 3.3:** Indeks pada Kernel

| CUDA   | OpenCL                         |
|--|--------------------------------|
| <code>gridDim</code>                             | <code>get_num_groups()</code>  |
| <code>blockDim</code>                            | <code>get_local_size()</code>  |
| <code>blockIdx</code>                            | <code>get_group_id()</code>    |
| <code>threadIdx</code>                           | <code>get_local_id()</code>    |
| <code>blockIdx * blockDim<br/>+ threadIdx</code> | <code>get_global_id()</code>   |
| <code>gridDim * blockDim</code>                  | <code>get_global_size()</code> |

**Tabel 3.4:** Pemanggilan API

| CUDA   | OpenCL  |
|--|---|
| <code>cudaGetDeviceProperties()</code>           | <code>clGetDeviceInfo()</code>  |
| <code>cudaMalloc()</code>                        | <code>clCreateBuffer()</code>   |
| <code>cudaMemcpy()</code>                        | <code>clEnqueueReadBuffer()</code><br><code>clEnqueueWriteBuffer()</code> |
| <code>cudaFree()</code>                          | <code>clReleaseMemObj()</code>  |
| <code>kernel&lt;&lt;&lt;...&gt;&gt;&gt;()</code> | <code>clEnqueueNDRangeKernel()</code>                                     |

### 3.1.4 Library BLAS

*Basic Linear Algebra Subprograms* (BLAS) adalah *library* yang umum digunakan pada pemrograman paralel karena berisi subprogram perkalian matriks dan vektor dasar. BLAS [13] awalnya merupakan bagian dari *library* Fortran tetapi kemudian dikembangkan secara terpisah dan terbuka untuk bahasa C dan bahasa lainnya. BLAS terdiri dari 3 tingkat atau kelompok subprogram [12]:

- Level 1 BLAS: operasi skalar, vektor and vektor-vektor
- Level 2 BLAS: operasi matriks-vektor
- Level 3 BLAS: operasi matriks-matriks

OpenCL memiliki beberapa alternatif implementasi BLAS yang dikembangkan oleh beberapa pihak, yaitu:

#### 1. CIBLAS

CIBLAS [14] merupakan implementasi *library* BLAS untuk OpenCL yang bersifat *opensource* yang dikembangkan oleh clMath<sup>1</sup>. *Library* ini sudah mengimplementasikan BLAS secara lengkap (*level* 1, 2 dan 3) dan juga memiliki fitur optimasi khusus untuk AMD GPU. Sistem operasi yang didukung oleh *library* ini adalah Windows 7/8, Linux dan Mac OSX. Cara pemanggilan fungsi pada clBLAS dapat dilihat pada gambar 3.1.

<sup>1</sup><https://github.com/clMathLibraries>

```

/* Setup clBLAS */
err = clblasSetup( );

/* Prepare OpenCL memory objects and place matrices inside them. */
bufA = clCreateBuffer( ctx, CL_MEM_READ_ONLY, M * K * sizeof(*A),
                      NULL, &err );
bufB = clCreateBuffer( ctx, CL_MEM_READ_ONLY, K * N * sizeof(*B),
                      NULL, &err );
bufC = clCreateBuffer( ctx, CL_MEM_READ_WRITE, M * N * sizeof(*C),
                      NULL, &err );

err = clEnqueueWriteBuffer( queue, bufA, CL_TRUE, 0,
                          M * K * sizeof( *A ), A, 0, NULL, NULL );
err = clEnqueueWriteBuffer( queue, bufB, CL_TRUE, 0,
                          K * N * sizeof( *B ), B, 0, NULL, NULL );
err = clEnqueueWriteBuffer( queue, bufC, CL_TRUE, 0,
                          M * N * sizeof( *C ), C, 0, NULL, NULL );

/* Call clBLAS extended function. Perform gemm for the lower right sub-matrices */
err = clblasSgemm( clblasRowMajor, clblasNoTrans, clblasNoTrans,
                  M, N, K,
                  alpha, bufA, 0, lda,
                  bufB, 0, ldb, beta,
                  bufC, 0, ldc,
                  1, &queue, 0, NULL, &event );

/* Wait for calculations to be finished. */
err = clWaitForEvents( 1, &event );

/* Fetch results of calculations from GPU memory. */
err = clEnqueueReadBuffer( queue, bufC, CL_TRUE, 0,
                          M * N * sizeof(*result),
                          result, 0, NULL, NULL );

/* Release OpenCL memory objects. */
clReleaseMemObject( bufC );
clReleaseMemObject( bufB );
clReleaseMemObject( bufA );

/* Finalize work with clBLAS */
clblasTeardown( );

```

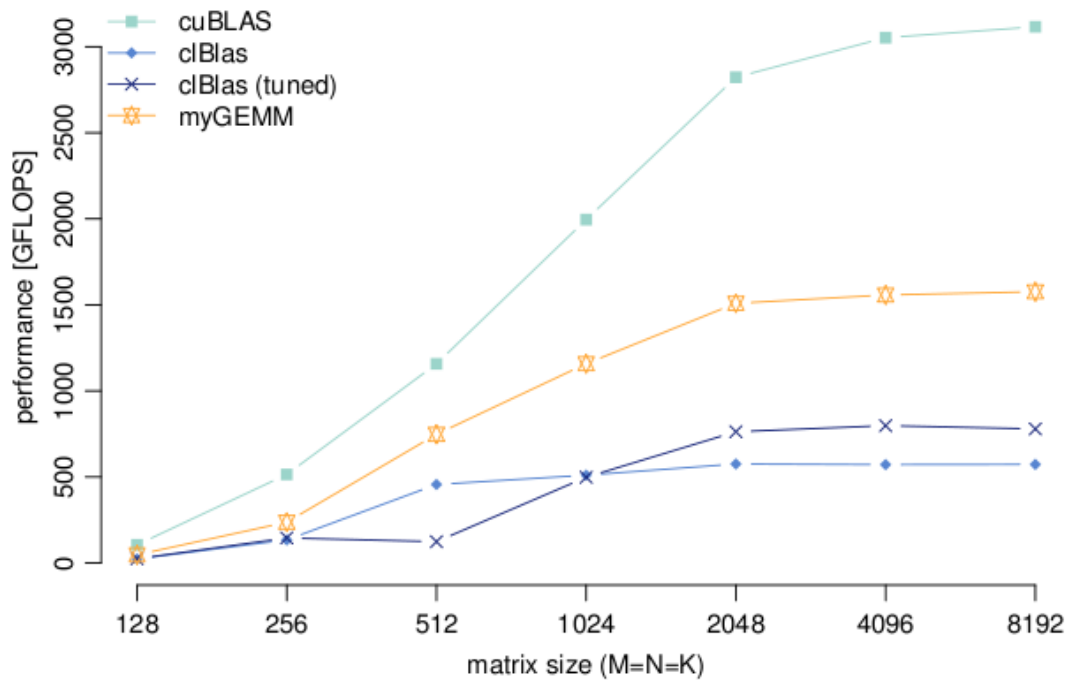
**Gambar 3.1:** Cara pemanggilan clblasSgemm pada clBLAS

## 2. MyGEMM

MyGEMM [16] adalah *library* yang dikembangkan oleh Cedric Nugteren yang juga bersifat *opensource*. Library ini dikembangkan karena ketidakpuasannya terhadap kinerja clBLAS [15] pada NVIDIA GPU. Sekalipun *library* ini dapat dioptimasi untuk NVIDIA GPU, implementasi BLAS yang ada baru *single-precision generalised matrix-multiplication* (SGEMM) saja. Cara pemakaiannya juga sama persis dengan memakai *kernel* OpenCL pada umumnya karena semua fungsi-fungsi BLAS diimplementasikan dalam bentuk file *kernel* OpenCL biasa.

Perbandingan kinerja clBLAS, MyGEMM dan CUBLAS (CUDA) [15] pada GPU NVIDIA Tesla K40 dapat dilihat pada gambar 3.2. Pada grafik tersebut terlihat bahwa kinerja CUDA dengan *library* CUBLAS jauh lebih baik dari semua

library OpenCL. Di sini Nugteren juga menunjukkan bahwa implementasi SGEMM pada myGEMM lebih baik dari clBLAS.



Gambar 3.2: Kinerja library BLAS pada OpenCL

### 3.1.5 Eksperimen

#### 3.1.5.1 Device Query

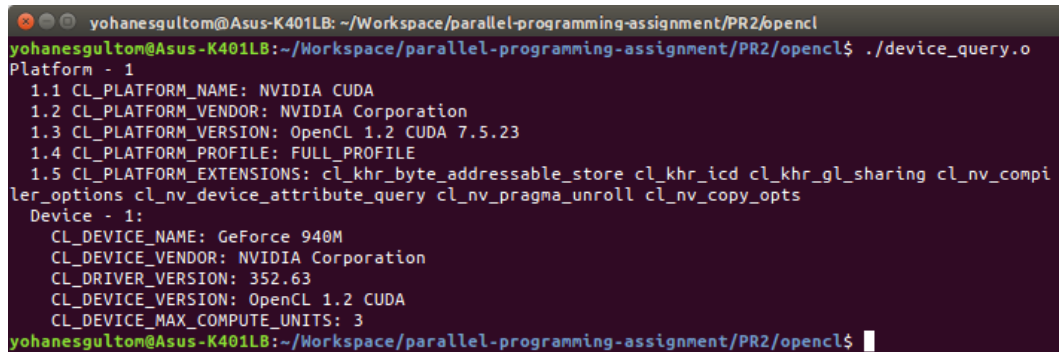
OpenCL menyediakan *Application Programming Interface* (API) untuk mengecek *platform* dan *device* OpenCL yang ada di dalam sebuah sistem [10] [11], yaitu:

- `clGetPlatformID()`: mendapatkan daftar *platform* pada mesin
- `clGetPlatformInfo()`: mendapatkan informasi dari suatu *platform*
- `clGetDeviceID()`: mendapatkan daftar *device* pada *platform*
- `clGetDeviceInfo()`: mendapatkan informasi dari suatu *device*

API ini juga digunakan pada saat menjalankan *kernel* untuk memilih *platform* dan *device* yang ingin digunakan untuk menjalankan *kernel* tersebut.

Pada eksperimen ini, program `device_query.c`<sup>2</sup> akan memanggil API untuk mendapatkan informasi *platform* dan *device* kemudian menampilkannya seperti pada gambar 3.3.

<sup>2</sup>[https://github.com/yohanesgultom/parallel-programming-assignment/blob/master/PR2/opencl/device\\_query.c](https://github.com/yohanesgultom/parallel-programming-assignment/blob/master/PR2/opencl/device_query.c)



```

yohanesgultom@Asus-K401LB: ~/Workspace/parallel-programming-assignment/PR2/opencl
yohanesgultom@Asus-K401LB:~/Workspace/parallel-programming-assignment/PR2/opencl$ ./device_query.o
Platform - 1
  1.1 CL_PLATFORM_NAME: NVIDIA CUDA
  1.2 CL_PLATFORM_VENDOR: NVIDIA Corporation
  1.3 CL_PLATFORM_VERSION: OpenCL 1.2 CUDA 7.5.23
  1.4 CL_PLATFORM_PROFILE: FULL_PROFILE
  1.5 CL_PLATFORM_EXTENSIONS: cl_khr_byte_addressable_store cl_khr_icd cl_khr_gl_sharing cl_nv_compiler_options cl_nv_device_attribute_query cl_nv_pragma_unroll cl_nv_copy_opts
Device - 1:
  CL_DEVICE_NAME: GeForce 940M
  CL_DEVICE_VENDOR: NVIDIA Corporation
  CL_DRIVER_VERSION: 352.63
  CL_DEVICE_VERSION: OpenCL 1.2 CUDA
  CL_DEVICE_MAX_COMPUTE_UNITS: 3
yohanesgultom@Asus-K401LB:~/Workspace/parallel-programming-assignment/PR2/opencl$

```

**Gambar 3.3:** Program untuk mendapatkan informasi platform dan device OpenCL

### 3.1.5.2 Single-Precision AX Plus Y (SAXPY)

*Single-Precision AX Plus Y* (SAXPY) adalah program yang melakukan kombinasi perkalian skalar dan penjumlahan vektor  $z = \alpha x + y$  di mana  $x, y, z$ : vektor dan  $\alpha$ : skalar. Program ini merupakan contoh program yang sederhana tapi cukup merepresentasikan sintaks operasi aljabar linear dari sebuah bahasa program atau *library* sehingga sering dianggap sebagai "*hello world*" untuk program aljabar linear.

Program SAXPY pada eksperimen ini terdiri dari dua buah file yaitu `saxpy.c`<sup>3</sup> (program utama) dan `saxpy.cl`<sup>4</sup> (*kernel*). Program ini akan menghitung SAXPY dengan vektor yang berukuran 1.024 elemen dan mencetak hasilnya seperti pada gambar 3.4.

<sup>3</sup><https://github.com/yohanesgultom/parallel-programming-assignment/blob/master/PR2/opencl/saxpy.c>

<sup>4</sup><https://github.com/yohanesgultom/parallel-programming-assignment/blob/master/PR2/opencl/saxpy.cl>

```

yohanesgultom@Asus-K401LB: ~/Workspace/parallel-programming-assignment/PR2/opencl$ gcc -o saxpy.o saxpy.c -lOpenCL
saxpy.c: In function 'main':
saxpy.c:65:5: warning: 'clCreateCommandQueue' is deprecated (declared at /usr/include/CL/cl.h:1359) [-Wdeprecated-declarations]
    cl_command_queue command_queue = clCreateCommandQueue(context, device_list[0], 0, &clStatus);
    ^
yohanesgultom@Asus-K401LB: ~/Workspace/parallel-programming-assignment/PR2/opencl$ ./saxpy.o
2.000000 * 0.000000 + 1024.000000 = 1024.000000
2.000000 * 1.000000 + 1023.000000 = 1025.000000
2.000000 * 2.000000 + 1022.000000 = 1026.000000
2.000000 * 3.000000 + 1021.000000 = 1027.000000
2.000000 * 4.000000 + 1020.000000 = 1028.000000
2.000000 * 5.000000 + 1019.000000 = 1029.000000
2.000000 * 6.000000 + 1018.000000 = 1030.000000
2.000000 * 7.000000 + 1017.000000 = 1031.000000
2.000000 * 8.000000 + 1016.000000 = 1032.000000
2.000000 * 9.000000 + 1015.000000 = 1033.000000
2.000000 * 10.000000 + 1014.000000 = 1034.000000
2.000000 * 11.000000 + 1013.000000 = 1035.000000
2.000000 * 12.000000 + 1012.000000 = 1036.000000
2.000000 * 13.000000 + 1011.000000 = 1037.000000
2.000000 * 14.000000 + 1010.000000 = 1038.000000
2.000000 * 15.000000 + 1009.000000 = 1039.000000
2.000000 * 16.000000 + 1008.000000 = 1040.000000
2.000000 * 17.000000 + 1007.000000 = 1041.000000
2.000000 * 18.000000 + 1006.000000 = 1042.000000
2.000000 * 19.000000 + 1005.000000 = 1043.000000
2.000000 * 20.000000 + 1004.000000 = 1044.000000
2.000000 * 21.000000 + 1003.000000 = 1045.000000
2.000000 * 22.000000 + 1002.000000 = 1046.000000
2.000000 * 23.000000 + 1001.000000 = 1047.000000
2.000000 * 24.000000 + 1000.000000 = 1048.000000
2.000000 * 25.000000 + 999.000000 = 1049.000000
2.000000 * 26.000000 + 998.000000 = 1050.000000
2.000000 * 27.000000 + 997.000000 = 1051.000000
2.000000 * 28.000000 + 996.000000 = 1052.000000
2.000000 * 29.000000 + 995.000000 = 1053.000000
2.000000 * 30.000000 + 994.000000 = 1054.000000
2.000000 * 31.000000 + 993.000000 = 1055.000000
2.000000 * 32.000000 + 992.000000 = 1056.000000
2.000000 * 33.000000 + 991.000000 = 1057.000000
2.000000 * 34.000000 + 990.000000 = 1058.000000
2.000000 * 35.000000 + 989.000000 = 1059.000000
2.000000 * 36.000000 + 988.000000 = 1060.000000
2.000000 * 37.000000 + 987.000000 = 1061.000000
2.000000 * 38.000000 + 986.000000 = 1062.000000
2.000000 * 39.000000 + 985.000000 = 1063.000000
2.000000 * 40.000000 + 984.000000 = 1064.000000
2.000000 * 41.000000 + 983.000000 = 1065.000000
2.000000 * 42.000000 + 982.000000 = 1066.000000
2.000000 * 43.000000 + 981.000000 = 1067.000000

```

Gambar 3.4: Program SAXPY 1024 elemen

### 3.1.5.3 Perkalian Matriks Bujursangkar

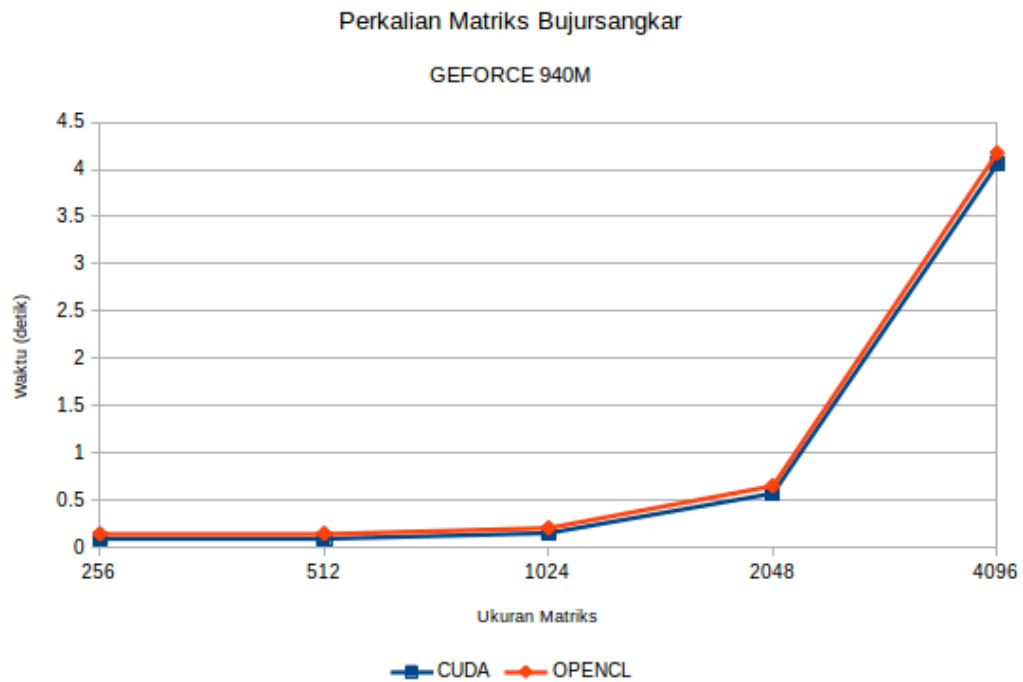
Eksperimen ini mencoba membandingkan kinerja perkalian matriks bujursangkar OpenCL [8] dengan CUDA. Program yang digunakan adalah `mmul_cuda.cu`<sup>5</sup> yang melakukan perkalian matriks bujursangkar dengan CUDA. Sedangkan perkalian matriks bujursangkar OpenCL terdiri dari dua file yaitu `mmul_openc1.c`<sup>6</sup> (program utama) dan `mmul_openc1.cl`<sup>7</sup> (*kernel*).

Hasil eksperimen pada mesin dengan NVIDIA 940M, memberikan hasil seperti grafik pada gambar 3.5. Pada grafik tersebut bahwa untuk ukuran matriks 256x256 sampai 4096x2096, program perkalian matriks dengan OpenCL selalu sedikit lebih lambat dari program yang dibuat dengan CUDA. Sekalipun demikian untuk kasus ini, perbedaan kecepatan antara OpenCL dan CUDA sangatlah kecil, yaitu di bawah 0.3 detik.

<sup>5</sup>[https://github.com/yohanesgultom/parallel-programming-assignment/blob/master/PR2/opencl/mmul\\_cuda.cu](https://github.com/yohanesgultom/parallel-programming-assignment/blob/master/PR2/opencl/mmul_cuda.cu)

<sup>6</sup>[https://github.com/yohanesgultom/parallel-programming-assignment/blob/master/PR2/opencl/mmul\\_openc1.c](https://github.com/yohanesgultom/parallel-programming-assignment/blob/master/PR2/opencl/mmul_openc1.c)

<sup>7</sup>[https://github.com/yohanesgultom/parallel-programming-assignment/blob/master/PR2/opencl/mmul\\_openc1.cl](https://github.com/yohanesgultom/parallel-programming-assignment/blob/master/PR2/opencl/mmul_openc1.cl)



**Gambar 3.5:** Perbandingan perkalian matriks bujursangkar OpenCL dengan CUDA

#### 3.1.5.4 Gaussian Filter Blurring pada Gambar Bitmap

*Gaussian filter blurring* adalah teknik untuk membuat gambar menjadi *blur* (kabur) (seperti gambar 3.6) dengan memanfaatkan perkalian dengan matriks yang dibangun menggunakan persamaan Gaussian 3.1.

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \cdot e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (3.1)$$

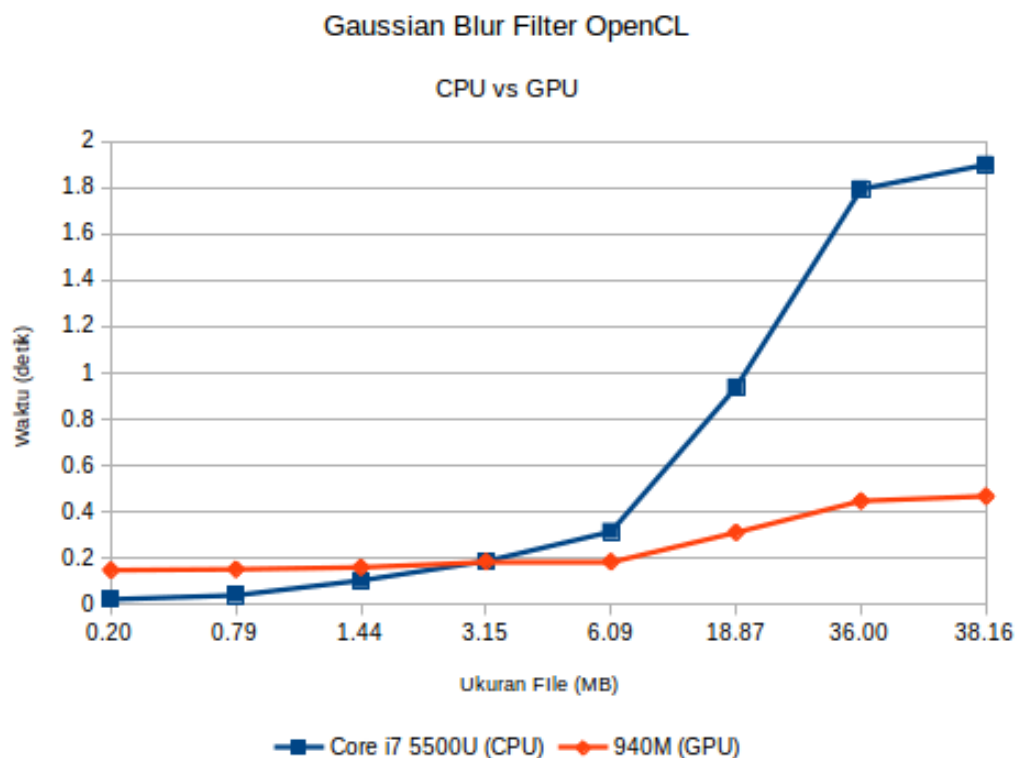


**Gambar 3.6:** Proses Gaussian Filter Blurring pada gambar

Eksperimen ini mencoba membandingkan kinerja Gaussian *blurring* dengan CPU dan dengan GPU (menggunakan OpenCL) [18]. Program yang digunakan terdiri dari kumpulan *library file*<sup>8</sup> dengan file utama `main.c` (program utama) dan

<sup>8</sup><https://github.com/yohanesgultom/parallel-programming-assignment/tree/master/PR2/opencl/>

`kernel.cl` (*kernel*) yang akan melakukan Gaussian *blurring* dengan CPU dan GPU serta menghitung waktu eksekusinya.



**Gambar 3.7:** Kinerja Gaussian Blurring CPU vs GPU

Hasil eksperimen yang dilakukan menggunakan gambar BMP dengan ukuran 0,2 MB - 38,16 MB memberikan hasil seperti grafik pada gambar 3.7. Pada hasil eksperimen tersebut terlihat bahwa pada gambar BMP dengan ukuran di bawah 3,15 MB, CPU (Intel Core i7 5500U) dapat melakukan Gaussian *blurring* lebih cepat dari GPU (NVIDIA 940M). Tetapi ketika gambar BMP yang diproses sudah lebih besar dari 3,15 MB, terlihat bahwa GPU dapat menyelesaikan proses dengan lebih cepat. Bahkan untuk ukuran gambar paling besar (38,16 MB), waktu yang dibutuhkan GPU untuk melakukan blurring hanya 0,4 detik atau sekitar  $\frac{1}{5}$  dari waktu yang dibutuhkan CPU.



## **BAB 4**

### **KONTRIBUSI**

Kontribusi tiap anggota kelompok pada tugas ini adalah sebagai berikut:

**Muhammad Fathurachman:**

- Kajian dan eksperimen pemrograman paralel R

**Otniel Yosi Viktorisa:**

- Kajian pemrograman paralel R

**Yohanes Gultom:**

- Kajian dan eksperimen pemrograman OpenCL

## DAFTAR REFERENSI

- [1] Patric. *Accelerate R Applications with CUDA*. 2014. <https://devblogs.nvidia.com/parallelforall/accelerate-r-applications-cuda/>.
- [2] W. N. Venables dan D. M. Smith. *Introduction to R*. 2016.
- [3] Beckmw. *A brief foray into parallel processing with R*. 2014.
- [4] Clint Leach. *Introduction to Parallel Computing in R*. 2014.
- [5] Drew Schmidt. *High Performance Computing with R*. 27 Februari 2015.
- [6] Florian Schwendinger, Gregor Kastner, Stefan Theul. *High Performance Computing with Applications in R*. 28 September 2015.
- [7] Askubuntu.com. *How to make OpenCL work on 14.10 + Nvidia 331.89 drivers?*. 10 Oktober 2014. <http://askubuntu.com/questions/541114/how-to-make-ocl-work-on-14-10-nvidia-331-89-drivers>.
- [8] Zaius. *Matrix Multiplication 1 (OpenCL)*. 22 September 2009. <http://gpgpu-computing4.blogspot.co.id/2009/09/matrix-multiplication-1.html>.
- [9] Mukherjee, S et al. *Exploring the Features of OpenCL 2.0*. 2015. IWOCL
- [10] Banger, R, Bhattacharyya .K. *OpenCL Programming by Example*. 2013. Packt publishing
- [11] Stackoverflow. *What is the right way to call clGetPlatformInfo?*. 21 Juni 2013. <http://stackoverflow.com/questions/17240071/what-is-the-right-way-to-call-clgetplatforminfo>.
- [12] Netlib.org. *About BLAS*. 15 November 2015. <http://www.netlib.org/blas/>.
- [13] Wikipedia. *Basic Linear Algebra Subprograms*. 10 Mei 2016. [https://en.wikipedia.org/wiki/Basic\\_Linear\\_Algebra\\_Subprograms](https://en.wikipedia.org/wiki/Basic_Linear_Algebra_Subprograms).
- [14] ClMath. *ClBLAS*. 2016. <https://github.com/clMathLibraries/clBLAS>.
- [15] Nugteren, C. *ClBLAS Tutorial*. 2014. <http://www.cedricnugteren.nl/tutorial.php?page=1>.

- [16] Nugteren, C. *MyGEMM*. 2014. <https://github.com/cnugteren/myGEMM>.
- [17] sharcnet.ca. *Porting CUDA to OpenCL*. 2014. [https://www.sharcnet.ca/help/index.php/Porting\\_CUDA\\_to\\_OpenCL](https://www.sharcnet.ca/help/index.php/Porting_CUDA_to_OpenCL).
- [18] Karapetsas, L. *Playing with OpenCL: Gaussian Blurring*. 2014. <http://blog.refu.co/?p=663>.