

Cluster Rasberry Pi Menggunakan Protokol OpenMP

Untuk Optimalisasi Komputasi Paralel

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer



Oleh
Rafli Eggy Ilham
09011281520088

JURUSAN SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2021

LEMBAR PENGESAHAN

CLUSTER RASBERRY PI MENGGUNAKAN PROTOKOL OPENMP UNTUK OPTIMALISASI KOMPUTASI PARALEL

TUGAS AKHIR

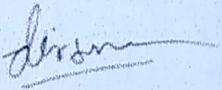
Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer

Oleh :

RAFLI EGGY ILHAM
09011281520088

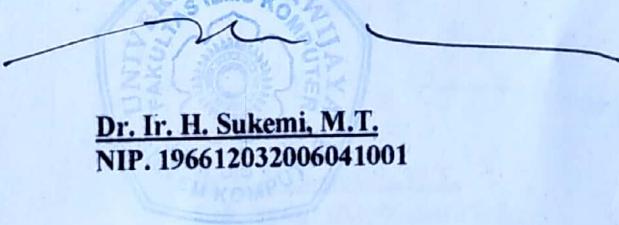
Pembimbing I,

Indralaya, Desember 2020
Pembimbing II,


Deris Stiawan, M.T., Ph.D.
NIP 197806172006041002


Ahmad Heryanto, M.T.
NIP 198701222015041002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Sistem Komputer


Dr. Ir. H. Sukemi, M.T.
NIP. 196612032006041001

HALAMAN PERSETUJUAN

Pada hari Kamis 31 Desember 2020 telah dilaksanakan ujian sidang tugas akhir oleh Sarjana Ilmu Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.

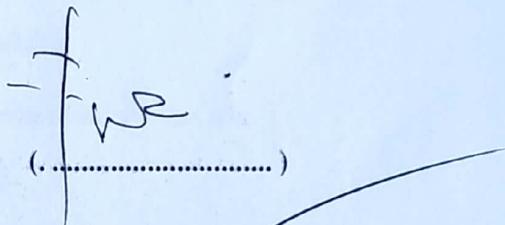
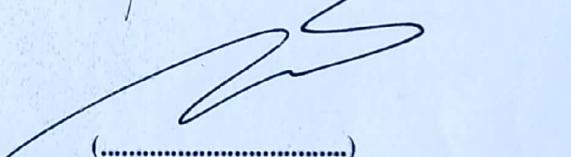
Nama : Rafli Eggy Ilham
NIM : 09011281520088
Judul : **CLUSTER RASBERRY PI MENGGUNAKAN
PROTOKOL OPENMP UNTUK OPTIMALIASI
KOMPUTASI PARALEL,**

Tim Penguji :

1. Ketua

Firdaus, M.kom

(.....)

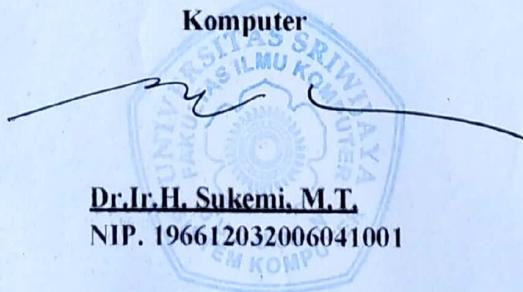
2. Penguji

Rossi Passarella, M.Eng

(.....)

Mengetahui,

Ketua Jurusan Sistem
Komputer



Dr.Ir.H. Sukemi, M.T.
NIP. 196612032006041001

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rafli Eggy Ilham
NIM : 09011281520088
Jurusan : Sistem Komputer
Judul : Cluster Rasberry Pi Menggunakan Protokol Openmp
Untuk Optimalisasi Komputasi Paralel

Hasil pengecekan Software iThenticcate/turnitin: 10 %

Menyatakan bahwa laporan tugas akhir saya merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil *penjiplakan/plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam laporan tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tidak ada paksaan oleh siapapun.



NIM. 09011281520088

HALAMAN PERSEMBAHAN

Ketahuilah, bahwa sesungguhnya kehidupan dunia ini hanyalah permainan dan suatu yang melalaikan, perhiasan dan bermegah-megah antara kamu serta berbangga-banggaan tentang banyaknya harta dan anak, seperti hujan yang tanam-tanamannya mengagumkan para petani; kemudian tanaman itu menjadi kering dan kamu lihat warnanya kuning kemudian menjadi hancur. Dan di akhirat (nanti) ada azab yang keras dan ampunan dari Allah serta keridhaan-Nya. Dan kehidupan dunia ini tidak lain hanyalah kesenangan yang menipu.

(Q.S. Al-Hadiid : 20)

Dan Kami perintahkan kepada manusia (agar berbuat baik) kepada kedua orang tuanya. Ibunya telah mengandungnya dalam keadaan lemah yang bertambah-tambah, dan menyapihnya dalam usia dua tahun. Bersyukurlah kepada-Ku dan kepada kedua orang tuamu. Hanya kepada Aku kembalimu

(Q.S Al-Luqman : 14)

Dengan mengucap syukur Alhamdulillah atas rahmat Allah SWT, tugas akhir saya persembahkan untuk :

- *Kedua orang tua dan adik-adik saya*
- *Seluruh Keluarga besar*
- *Dosen pembimbing dan penguji*
- *Sahabat-sahabat saya*
- *Teman seperjuangan sistem komputer 2015*
- *almameterku*

KATA PENGATAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillahhirabbil'alamin Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas segala karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini dengan judul “Cluster Rasberry Pi menggunakan protokol OpenMP untuk optimalisasi komputasi paralel” di susun untuk memenuhi sebagian persyaratan kelulusan untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer pada Jurusan Sistem Komputer Universitas Sriwijaya.

Pada kesempatan ini penulis menyadari banyak keterbatasan dan kelemahan yang ada dalam menyelesaikan tesis ini sehingga penulis ingin meyampaikan ucapan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan dan motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini, kepada:

1. Kedua orang tua beserta keluarga besar yang selalu mendoakan, sabar, dan memberikan motivasi serta semangat.
2. Bapak Jaidan Jauhari, S.Pd, M.T. selaku dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Ir. Sukemi, M.T., sebagai Ketua Jurusan Sistem Komputer Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Deris Stiawan, M.T., Ph.D. dan Bapak Ahmad Heryanto, M.T. selaku pembimbing yang telah meluangkan waktu, lab penelitian, bantuan serta saran dan kritiknya dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Bapak Sutarno, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing Akademik di Jurusan Sistem Komputer.
6. Bapak Firdaus, M.kom. selaku dosen ketua sidang dan Bapak Rossi Passarella, M.Eng dan Bapak Huda Ubaya, M.T. selaku dosen penguji tugas akhir.

7. Dosen-dosen pengajar yang telah memberikan ilmu bermanfaat kepada penulis selama menuntut ilmu di Jurusan Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
8. Mba Winda Kurnia Sari dan mba Renny Virgasari selaku Administrator Jurusan Sistem Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya yang telah memberi kemudahan dalam pengurusan administrasi.
9. Seluruh teman-teman Jurusan Sistem Komputer Angkatan 2015 yang telah membantu dan memberikan semangat pada masa-masa perkuliahan.
10. Semua pihak yang telah memberi dukungan kepada penulis dan tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan yang harus disempurnakan dalam penyusunan laporan ini, baik dari materi maupun teknik penyajiannya. Untuk itu kritik dan saran yang membangun sangatlah diharapkan penulis agar dapat segera diperbaiki sehingga laporan ini dapat dijadikan sebagai masukkan ide dan pemikiran yang bermanfaat bagi semua pihak, Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Indralaya, Desember 2020

Rafli Eggy Ilham

Cluster Rasberry Pi Menggunakan Protokol OpenMP

Untuk Optimalisasi Komputasi Paralel

Rafli Eggy Ilham (09011281520088)

Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Sriwijaya

E-mail : rafli.eggy@gmail.com

ABSTRAK

Komputasi paralel dan *multi-core* prosesor menjadi platform yang menjanjikan serta mampu memproses banyak tugas, instruksi, dan data dalam waktu bersamaan, yang tujuannya adalah menghemat dan mempercepat perhitungan yang tidak bisa diatasi oleh komputer tradisional. Programing model Protokol openmp di implementasikan ke sebuah sistem cluster menggunakan Rasberry pi, cluster ini dibangun menerapkan 5 node Rasberry Pi yang nantinya dapat di hitung tingkat kecepatan dan efisiensi sebuah paralel program. Program yang di ujikan adalah perkalian matriks dengan ordo $n \times n$. Setelah sistem di bangun di lakukan pengujian di dapatkan nilai dari beberapa parameter yaitu percepatan, efisiensi, *throughput*, ketersedian sumber daya. Protoko OpenMP yang digunakan menghasilkan waktu eksekusi yang lebih cepat di bandingkan program pada sistem *single-node*. Sistem cluster rasberry Pi lebih cepat dibandingkan sistem simulasi karena hasil pecepatan yang didapat 5,52 kali dan efisiensi lebih dari 90 %.

Kata kunci : cluster computing, OpenMp, Rasberry Pi, parallel programming, high performance computing

Cluster Rasberry Pi With OpenMP Protocol For Parallel Computing Optimization

Rafli Eggy Ilham (09011281520088)

Dept. of Computer Engineering, Faculty of Computer Science,

Sriwijaya University

E-mail : rafli.eggy@gmail.com

ABSTRACT

Parallel computing and multi-core processors become promising platforms and are capable of processing multiple tasks, instructions, and data simultaneously, the goal of which is to save and speed up calculations that traditional computers cannot cope with. OpenMP Protocol programming model is implemented into a cluster system using Rasberry pi. This cluster is built by applying 5 nodes Rasberry pi, which can later be calculated the speed and efficiency of a parallel program. The program tested is matrix multiplication by order $n \times n$. After the system is built-in, the test gets the value of several parameters, namely acceleration, efficiency, throughput, availability of resources. The OpenMP protocol used results in faster execution times compared to programs on single-node systems. The Rasberry Pi bee cluster system is faster than the simulation system due to the speeding results obtained 5.52 times and efficiency of more than 90%.

Keyword : cluster computing, OpenMp, Rasberry Pi, parallel programming, high performance computing

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv

BAB I . PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Manfaat	2
1.4 Rumusan Masalah	2
1.5 Batasan Masala.....	2
1.6 Metodelogi penelitian	3
1.7 Sistematika penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pendahuluan.....	6
2.2 Dasar teori	6
2.2.1. Komputasi Paralel	6
2.2.2. Arsitektur Komputer Pararel	8
2.2.3. Pemrograman Paralel	9
2.2.4. Open MP.....	10
2.2.5. Cluster Komputer	10

2.2.6. Rasberry Pi.....	10
2.2.7. Matriks.....	11
2.2.7.1. Definisi Matriks	11
2.2.7.2 Perkalian Matriks	12
2.2.8. Parameter Kinerja Komputer Paralel	12
2.2.8.1. Percepatan(<i>speed up</i>)	13
2.2.8.2. Efisiensi	13
2.2.8.3. <i>Throughput</i>	14
2.2.8.4. Ketersediaan Sumber Daya	14
BAB III METODELOGI PENELITIAN.....	15
3.1. Pendahuluan	16
3.2. Kerangka Kerja Penelitian.....	16
3.3. perancangan sistem.....	17
3.3.1. Kebutuhan Hardware(perangkat keras)	18
3.3.2.Kebutuhan Software(perangkat lunak)	19
3.4. Algoritma Perkalian Matriks Dengan Protokol Openmp.....	19
3.5. Penentuan Skenario Pengujian	20
3.5.1. Skenario Pertama	20
3.5.3.Skenario Kedua	20
3.6. Peentuan Skenario Pengujian.....	21
3.7. Hasil Dan Analis.....	21
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS.....	23
4.1 pendahuluan	23
4.2 Pengajuan Skenario Pertama	23
4.2.1. Hasil Pengujian Cluster berbasis Simulasi	23
4.2.1.1. Waktu Eksekusi	24
4.2.1.2. Ketersediaan Sumber Daya	24
4.2.1.3. Throughput	26

4.2.1.4. <i>speed-up</i> dan efisiensi	26
4.2.2. Analisis Data Hasil Pengujian Sistem Clster Simulasi.....	27
4.2.2.1. Waktu Eksekusi	27
4.2.2.2. Sumber Daya	29
4.2.2.3. Throughput	32
4.2.2.4. <i>speed-up</i> dan efisiensi	33
4.3 Pengujian Skenario Kedua.....	35
4.3.1 Data Pengujian Sistem Cluster Raspberry Pi.....	35
4.3.1.1. Waktu Eksekusi	36
4.3.1.2 Ketersediaan Sumber Daya	36
4.3.1.3. Throughput	38
4.3.1.4. Percepatan (<i>Speed-up</i>) dan Efisiensi	39
4.3.2 Analisa Data Hasil Pengujian Sistem Cluster Raspberry Pi.....	40
4.3.2.1 Waktu Eksekusi	40
4.3.2.2. Ketersediaan Sumber Daya	42
4.2.2.3. Percepatan (<i>Speed-up</i>) dan Efisiensi	46
BAB V.....	49
5.1. Kesimpulan.....	49
5.2 Saran	49
 DAFTAR PUSTAKA	50

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 komputasi parallel.....	7
Gambar 2.2 parallel computing infrastructre.....	8
Gambar 4.1 trend grafik waktu eksekuensi program perkalian matriks $x=100$	28
Gambar 4.2 trend grafik waktu eksekuensi program perkalian matriks $x=500$	29
Gambar 4.3 grafik batang CPU usage perkalian matrixs $x =100$	30
Gambar 4.4 grafik batang CPU usage perkalian matrixs $x=500$	30
Gambar 4.5 grafik batang memory usage program perkalian matrixs $x=100$	31
Gambar 4.6. grafik batang memory usage program perkalian matrixs $x= 500$	32
Gambar 4.7 grafik batang perbandingan nilai throughput program perkalian matriks $x= 100$ dan $x=500$	33
Gambar 4.8 trend grafik percepatan program perkalian matriks open MP pada sisitem clster simulasin.....	34
Gambar 4.9 trend grafik efisien program perkalian matriks openMP pada sistem cluster simulasin.....	34
Gambar 4.10. Trend Grafik Waktu Eksekusi program perkalian matriks $x=100$..40	
Gambar 4.11. Trend Grafik Waktu Eksekusi program perkalian matriks $x = 500$	41
Gambar 4.12. Grafik Batang <i>CPU usage</i> program perkalian matriks $x = 100$...	42
Gambar 4.13. Grafik Batang <i>CPU usage</i> program perkalian matriks $x = 500$...	43
Gambar 4.14. Grafik Batang <i>Memory usage</i> program perkalian matrik $x=100$...	44
Gambar 4.15. Grafik Batang <i>Memory usage</i> program perkalian matriks $x=500$	45
Gambar 4.16. Grafik Batang perbandingan nilai <i>throughput</i>	46
Gambar 4.17. Trend Grafik <i>speed-up</i> program perkalian matriks <i>OpenMP</i>	47
Gambar 4.18. Trend Grafik efisiensi program perkalian matriks <i>OpenMP</i>	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik Implementasi Model Pemrograman Paralel	9
Tabel 4.1 Hasil pengujian waktu eksekusi program perkalian matriks	24
Tabel 4.2. Hasil pengujian CPU <i>usage</i> pada sistem cluster Simulasi	24
Tabel 4.3. Hasil Pengujian <i>memory usage</i> dalam sistem cluster Simulasi	25
Tabel 4.4. Hasil Pengujian <i>memory usage</i> dalam sistem cluster Simulasi	26
Tabel 4.5. Hasil perhitungan <i>speed-up</i> dan efisiensi sistem cluster simulasi	27
Tabel 4.6. Hasil pengujian waktu eksekusi pada sistem cluster Raspberry Pi dengan jumlah node yang berbeda	36
Tabel 4.7. Hasil pengujian <i>CPU Usage</i> pada sistem cluster Raspberry Pi dengan jumlah node yang berbeda	37
Tabel 4.8. Hasil pengujian <i>Memory Usage</i> pada sistem cluster Raspberry Pi dengan jumlah node yang berbeda	37
Tabel 4.9. Hasil pengujian <i>throughput</i> pada sistem cluster Raspberry Pi dengan jumlah node yang berbeda	38
Tabel 4.10. Hasil perhitungan <i>speed-up</i> dan efisiensi pada sistem cluster Raspberry Pi dengan jumlah node yang berbeda	39

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Klaster terdiri dari sekelompok komputer independen (node) yang saling terhubung melalui jaringan interkoneksi kinerja tinggi. setiap node tidak hanya dapat digunakan sebagai sumber daya komputasi tunggal untuk pengguna interaktif, tetapi juga dapat bekerja sama seperti komputasi tunggal dan sumber daya komputasi terpusat untuk komputasi paralel.

Komputasi paralel artinya memproses banyak tugas, instruksi dan banyak data dalam jangka waktu bersamaan. Tujuan utamanya komputasi paralel ini yaitu bisa menghemat waktu, meningkatkan kecepatan perhitungan dan memecahkan masalah yang tidak mampu diatasi oleh komputer tradisional. Komputasi jadi diimplementasikan dalam cluster sistem computing atau komputer dengan banyak core. [1]. Ide dasar dari komputasi paralel yaitu menguraikan masalah yang memiliki jangkauan luas sehingga masalah nya dapat di urai jadi lebih sedikit[2].

Parallel system terdiri atas banyak mesin terdistribusi yang tidak sama serta saling terhubungan. Selanjutnya yaitu, diperlukan sebuah bentuk pemrograman paralel untuk digunakan program paralel nantinya dipakai dalam *parallel system*. Dalam pelaksanaanya, server akan bertanggung jawab mendistribusikan tugas serta juga *load* di antara prosesor, kemudian memilih dan menargetkan prosesor yang sesuai dengan model pemrograman agar nantinya digunakan, akhirnya perhitungan tugas semuanya yang dieksekusi dalam periode secepat dan sesingkat mungkin [3].

Beberapa tahun terakhir multi-core prosesor telah menjadi sebuah platform yang menjanjikan sebab keuntungan yang didapatkan dari *single chip* mampu memiliki *core* yang besar [4]

Setelah beberapa pembacaan riset referensi sebelumnya, sehingga di penelitian tugas akhir sekarang penulis mencoba membangun sistem *cluster system* computing (Raspberry Pi) memakai protokol *OpenMP* untuk menerapkan optimalisasi program paralel komputasi. Penggunaan OpenMP bertujuan untuk

meningkatkan eksekusi kecepatan dan sebuah efisiensi untuk sebuah paralel programing yang akan dieksekusi pada *cluster system*.

1.2 Tujuan penelitian

1. Merancang sistem cluster menggunakan Raspberry Pi.
2. Menggunakan protokol OpenMP sebagai standar untuk menjalankan program paralel computing.
3. Melakukan analisa data pada sistem cluster ketika menjalankan program paralel didasarkan beberapa parameter pengujian yaitu *speed-up* (percepatan), *throughput*, efisiensi, dan ketersediaan *resources*.

1.3 Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian dapat diambil berupa, antara lain :

1. Dapat merancang *cluster system* yang mampu menyelesaikan tugas perhitungan yang akan lebih cepat dan terefisien dibandingkan dengan model *single core*.
2. Dapat menggunakan model pemrograman OpenMP untuk komputer paralel.

1.4 Rumusan masalah

1. Bagaimana mengimplementasikan protokol OpenMP ke sebuah *cluter system* Rasberry pi ?
2. Bagaimana menghitung tingkat kecepatan serta efisiensi sebuah program paralel dalam sebuah sistem cluster yang dibangun ?

1.5 Batasan masalah

Penelitian yang baik dan sesuai dengan yang harapakan, sehingga akan dibutuhkan batasan dalam penelitian, yaitu :

1. *Cluster system* adalah sistem *devices* berskala kecil yang menerapkan lima node yang diimplementasikan dalam sistem model berbasis simulasi dan *real-environment* memakai Raspberry pi.

2. Menerapkan protokol atau programing model *OpenMP* sebagai standar di pembuatan sebuah program komputasi nantinya akan dibangun pada *cluster system* Raspberry pi.
3. Program pengujian adalah perkalian sebuah matriks sekuensial dan paralel memakai ordo yaitu $n \times n$.
4. Penghitungan performa dari sistem cluster berupa perbandingan tingkat kecepatan dan efisiensi antar program sekuensial dengan program parallel.
5. Membandingkan performasi dalam menjalankan program matriks multiplication dari banyak node yang diterapkan.
6. Akhirnya hasil nanti didapatkan dalam grafik supaya mempermudah melihat performasi dari sebuah cluster sistem.

1.6 Metodologi penelitian

Digunakan metodologi yang dalam tugas akhir berikut akan melalui beberapa tahap yaitu:

1. Tahapan Pertama (Studi Pustaka)

Tahapan ini ialah tahap mencari literatur atau referensi pada *Keyword* nya di ambil dari tema penelitian yang bertujuan untuk membantu pada penelitian yang dilaksanakan.

2. Tahapan Kedua (Perancangan sistem)

Ditahap ini adalah perancangan sebuah sistem yang dibangun berlandaskan rumusan masalah yang dicari dalam studi penelitian. Disini penulis membangun hardware dan software dan mengimplementasikan metode yang dipakai dan juga dilakukan konfigurasi dan penulisan program.

3. Tahapan Ketiga (Pengujian).

Disini adalah tahapan yang akan dilakukan yaitu pengujian menggunakan metodologi atau algoritma penelitian dengan memakai metode di atas yang telas di pilih sehingga hasil yang diharapkan sesuai

4. Analisis.

Tahapan ini dilakukan dengan pencarian data serta menganalisa data yang diambil dari tahap ketiga yaitu tahapan pengujian yang bertujuan sistem berkerja dengan baik atau tidak atau masih memiliki kekurangan, kalau hasil perhitungan

belum memuaskan akan dilaksanakan pengujian ulang untuk menemukan hasil data yang diinginkan.

5. Kesimpulan dan Saran

Disini dilakukan penarikan kesimpulan yang telah di analisa dari hasil data dan referensi serta studi literatur serta saran untuk penulis sesudah ini jika akan dijadikan bahan referensi penelitian.

1.7 Sistematika Penulisan

Guna memudahkan dalam penyusunan tugas akhir ini dan memperjelas keterangan dari setiap bab pada laporan ini, berikut sistematika yang dibuat yaitu :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang Latar Belakang, Tujuan, Manfaat, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Metodologi Penelitian, dan Sistematika Penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang penjelasan mengenai landasan teori yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas pada penulisan tugas akhir.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan secara bertahap dan terperinci tentang langkah-langkah (metodologi) yang digunakan dalam penelitian. Penjelasan dalam bab ini termasuk perancangan sistem dan penerapan metode yang digunakan.

BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA

Bab ini menjelaskan hasil pengujian yang dilakukan serta analisis dari tiap data yang diperoleh dari hasil pengujian. Analisis data yang akan dilakukan yaitu berdasarkan parameter yang telah ditentukan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan tentang apa yang diperoleh oleh penulis serta merupakan jawaban dari tujuan yang ingin dicapai pada BAB 1, serta berisi saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Zhang, “Research on parallel computing performance visualization based on MPI,” *Proc. - 2nd IEEE Int. Conf. Adv. Comput. Control. ICACC 2010*, vol. 5, pp. 323–327, 2010, doi: 10.1109/ICACC.2010.5487069.
- [2] Y. Xul and T. Zhang, “A Hybrid Open MP/MPI Parallel Computing Model Design on the SMP Cluster,” *Power Electron. Syst. Appl. (PESA), 6th Int. Conf.*, 2015, doi: 10.1109/PESA.2015.7398918.
- [3] K. Mohamed and O. Mohamed, “Parallel computing in heterogeneous machines based on the CPU donation approach,” *Proc. EDIS 2017 - 1st Int. Conf. Embed. Distrib. Syst.*, vol. 2017-Decem, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/EDIS.2017.8284038.
- [4] Z. Zheng, X. Chen, Z. Wang, L. Shen, and Jiawen Li, “Performance model for OpenMP parallelized loops,” *Proc. 2011 Int. Conf. Transp. Mech. Electr. Eng. TMEE 2011*, pp. 383–387, 2011, doi: 10.1109/TMEE.2011.6199223.
- [5] D. I. Donato, “Simple, efficient allocation of modelling runs on heterogeneous clusters with MPI,” *Environ. Model. Softw.*, vol. 88, pp. 48–57, 2017, doi: 10.1016/j.envsoft.2016.11.003.
- [6] B. Barney, “Introduction to parallel computing,” *Livermore Computing Getting Started Workshop*, 2018. .
- [7] J. Diaz, C. Muñoz-Caro, and A. Niño, “A survey of parallel programming models and tools in the multi and many-core era,” *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 23, no. 8, pp. 1369–1386, 2012, doi: 10.1109/TPDS.2011.308.
- [8] R. Brightwell, M. Heroux, Z. Wen, and J. Wu, “Parallel phase model: A

- programming model for high-end parallel machines with manycores,” *Proc. Int. Conf. Parallel Process.*, pp. 92–99, 2009, doi: 10.1109/ICPP.2009.69.
- [9] D. Frestyani and M. Putri, “Perbandingan Kinerja Cluster OpenMosix dengan Disk dan Tanpa Disk,” *Kommit2004*, pp. 866–872, 2004.
- [10] B. Dye, M. Professor, and M. Neilsen, “Distributed Computing With the Raspberry Pi,” *Thesis. Dept Comput. Inf. Sci. Coll. Eng. Kansas State Univ. Manhattan, Kansas*, 2014.
- [11] J. Morra and Q. H. Mahmoud, “Evaluation of Python-based Tools for Distributed Computing on the Raspberry Pi,” *CASCON*, 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.1145/12345.67890>.
- [12] E. I. Alwi, T. B. Adji, S. Sumaryono, and M. Era, “Implementation and Performance Analysis Of Mpi Cluster System In Distributed Rendering,” pp. 3–8, 2016.