

Evaluasi Efisiensi Energi Komputasi FDTD Menggunakan Graphics Processing Unit

Angger Abdul Razak¹, Adharul Muttaqin², and Muhammad Aswin³
^{1,2,3}Electrical Engineering Department of Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia
Email: aarazak@ub.ac.id, adharul@ub.ac.id, muh-aswin@yahoo.com

Abstract—Finite Difference Time Domain (FDTD) is one famous method that used to evaluate and simulate electromagnetic wave with its interaction to the surrounding materials. However, FDTD also known as a method that needs a large computer resource when the computation runs. In this paper, FDTD that usually runs on the Central Processing Unit (CPU) will be executed in the Graphics Processing Unit (GPU) and its feasibility will be tested. Furthermore, energy usage for FDTD calculation in CPU and GPU will be compared as a main target in this paper. Results show that GPU computing could have around 10,8 times lower energy usage compared to CPU computing for executing the same problem.

Index Terms—Energy efficiency, FDTD, GPU computation.

Abstrak—Finite Difference Time Domain (FDTD) merupakan salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengevaluasi dan mensimulasi gelombang elektromagnetik beserta interaksinya dengan material sekitarnya. Namun, FDTD juga dikenal dengan kebutuhan sumber daya komputer yang besar saat proses komputasinya. Pada paper ini, FDTD yang pada umumnya dijalankan menggunakan komputasi Central Processing unit (CPU) akan dijalankan menggunakan komputasi Graphics Processing Unit (GPU) dan dievaluasi kelayakannya. Selain itu, perbandingan energi yang digunakan pada kedua metode komputasi tersebut juga akan dibandingkan sebagai target utama riset ini. Hasil menunjukkan jika komputasi GPU dapat menggunakan energi sekitar 10,8 kali lebih kecil dibandingkan komputasi CPU untuk menjalankan kasus yang sama.

Kata Kunci—Efisiensi energi, FDTD, komputasi GPU.

I. PENDAHULUAN

Finite Difference Time Domain (FDTD) merupakan salah satu metode yang banyak dipakai untuk mensimulasikan gelombang elektromagnetik beserta interaksinya dengan material sekitarnya. FDTD ini dapat digunakan untuk membantu mengevaluasi struktur antenna, struktur Fiber Bragg Grating (FBG), struktur peralatan optic, serta juga dapat digunakan untuk mensimulasikan interaksi sinyal elektromagnetik (seperti sinyal telepon genggam) terhadap medium rambat maupun benda-benda lain yang dilaluinya [1].

Pada proses perhitungannya, FDTD ini membutuhkan banyak proses perkalian matriks dan juga memiliki

banyak perulangan selama prosesnya berlangsung [1]. Akibatnya, FDTD ini juga membutuhkan sumber komputasi yang besar pula. Secara umum, program FDTD ini dijalankan dengan menggunakan Central Processing Unit (CPU) yang terdapat dalam Personal Computer (PC). Jika program FDTD yang digunakan sudah mendukung multi-threading, maka semua thread yang berada di dalam CPU akan dapat dimanfaatkan, yang berujung pada implementasi komputasi paralel. Jumlah thread yang biasanya didukung oleh sebuah CPU desktop berkisar dari 4 hingga 16 thread.

GPU adalah salah satu komponen komputer yang pada awalnya hanya dirancang untuk mengolah grafis. Namun, saat ini GPU sudah dapat dimanfaatkan pula untuk membantu CPU dalam perhitungan matematis, yang disebut dengan komputasi GPU. Arsitektur inti dari CPU yang ada saat ini jauh lebih besar, kompleks dan lebih cepat dibandingkan arsitektur inti GPU yang lebih kecil, sederhana serta lebih pelan. Namun GPU memiliki keunggulan dalam jumlah inti yang jauh lebih banyak. Dengan memanfaatkan komputasi FDTD yang dapat dipecah secara paralel, maka komputasi tersebut juga bisa memanfaatkan Graphics Processing Unit (GPU) untuk proses simulasinya [2] [3] [4]. Dengan jumlah core sederhana yang dimiliki sebuah GPU dapat berjumlah hingga ribuan unit, GPU dapat memiliki kecepatan total hingga 20x dalam komputasi paralel dibandingkan CPU dengan 8 thread [5].

Meskipun memiliki jumlah inti mencapai ribuan, penggunaan daya GPU hanya 2-4 kali saja dibandingkan daya yang digunakan CPU [6] [7]. Oleh karena itu, komputasi GPU dapat digunakan untuk meminimalisir penggunaan energi total yang dibutuhkan dalam komputasi paralel FDTD ini.

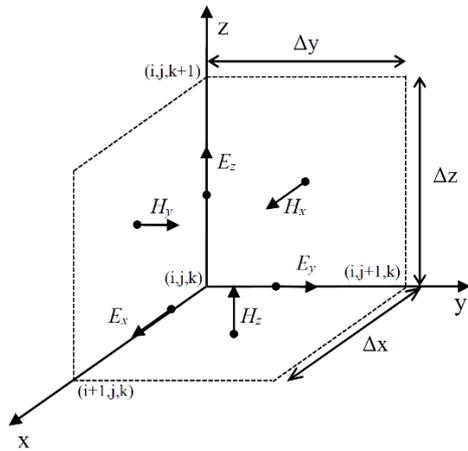
II. FINITE DIFFERENCE TIME DOMAIN (FDTD)

Finite Difference Time Domain (FDTD) adalah teknik analisis numerik yang dapat digunakan untuk mensimulasi medan elektromagnetik dan interaksinya dengan objek fisik dan sekitarnya. FDTD bekerja dengan memecahkan permasalahan rumus time-dependent milik Maxwell dengan menggunakan beberapa persamaan differensial parsial. Metode ini pertama kali diajukan oleh Kane S. Yee pada tahun 1966 [6] yang menjadikan metode ini juga disebut metode Yee. Persamaan time-dependent Maxwell dalam ruang hampa ditunjukkan pada persamaan (1) dan (2).

$$\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon} \nabla \times \mathbf{H} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{E} \quad (2)$$

dimana E dan H adalah vektor medan elektrik dan medan magnetik dalam tiga dimensi. Sedangkan konsep asli dari FDTD dalam tiga dimensi yang dijelaskan oleh Sel Yee ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar. 1. Sel Yee

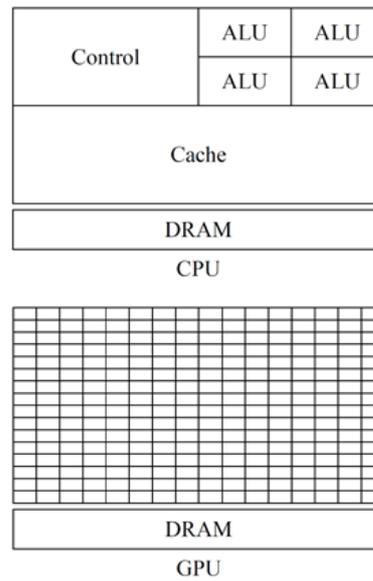
Gambar tersebut hanya memuat sebuah kotak sel saja. Pada simulasi yang sebenarnya, akan terdapat banyak sekali kotak-kotak tersebut yang tersusun dalam tiga dimensi dan menghadap ke arah yang sama. Ukuran sel tersebut akan bergantung dengan frekuensi gelombang yang akan disimulasikan. Jika ukuran sel terlalu besar, atau frekuensi terlalu tinggi, komputasi FDTD dapat menjadi tidak stabil.

III. KOMPUTASI GRAPHICS PROCESSING UNIT (GPU)

Graphics Processing Unit (GPU) adalah komponen yang biasanya digunakan untuk melakukan komputasi grafik atau gambar. Sedangkan komputasi GPU adalah menggunakan GPU untuk melakukan komputasi yang secara tradisional dilakukan oleh Central Processing Unit (CPU) dalam sistem komputer. Komputasi GPU ini memanfaatkan paralelisme dalam struktur GPU untuk mendapatkan kecepatan total yang lebih tinggi.

Secara tradisional, program yang berjalan pada komputer di era awal pemrograman adalah berjalan secara sekuensial. Proses ini mudah dipahami oleh manusia karena prosesnya dilakukan secara berurutan melalui program. Dengan proses ini, program akan berjalan lebih cepat dengan menggunakan CPU yang lebih cepat yang biasanya rilis pada generasi yang lebih baru. Karena program sekuensial hanya menggunakan satu inti CPU, perolehan kinerja dalam generasi CPU yang lebih baru biasanya diimplementasikan dengan meningkatkan frekuensi CPU. Selama 30 tahun, satu-satunya pendekatan penting ini diimplementasikan dalam peningkatan kinerja untuk komputasi konsumen [7].

Pada generasi selanjutnya, frekuensi yang lebih tinggi tidak efisien lagi untuk mendapatkan kinerja yang lebih tinggi karena ada batasan untuk frekuensi kerja CPU. Sejak 2003, industri semikonduktor berusaha mempertahankan kecepatan eksekusi program sekuensial sambil bergerak untuk menggunakan beberapa inti CPU [8]. Inti ganda untuk CPU dimulai dengan dua inti yang dapat menjalankan dua proses simultan di masing-masing inti. Program sekuensial tidak dapat memperoleh manfaat jika berjalan sendirian dalam jenis CPU seperti ini, sementara program yang diparalelisasi dapat meningkatkan kinerjanya dengan menggunakan kedua inti CPU pada saat yang sama. Sedangkan pada struktur GPU, komponen ini memiliki jumlah inti yang jauh lebih banyak dalam satu unitnya. Ilustrasi perbandingan CPU dan GPU ditunjukkan pada Gambar 2 [9].



Gambar. 2. Ilustrasi konstruksi CPU dan GPU

IV. KONFIGURASI PERANGKAT KERAS DAN LUNAK

Pada paper ini, spesifikasi komputer yang digunakan adalah:

1. CPU AMD Ryzen R5 2600
2. Motherboard BIOSTAR B350 GT5
3. Memory RAM 2x8GB DDR4-2666
4. VGA GTX 1060 6GB
5. HDD Seagate Baracuda 1TB
6. PSU Silverstone ST70F-ES 700W
7. Case Infinity Poseidon

Sedangkan perangkat lunak yang diperlukan antara lain:

1. Microsoft Windows 10 64bit sebagai Operating System.
2. Visual Studio Community Edition sebagai basis dasar bahasa pemrograman.
3. Visual Fortran sebagai bahasa pemrograman untuk menciptakan struktur FBG.

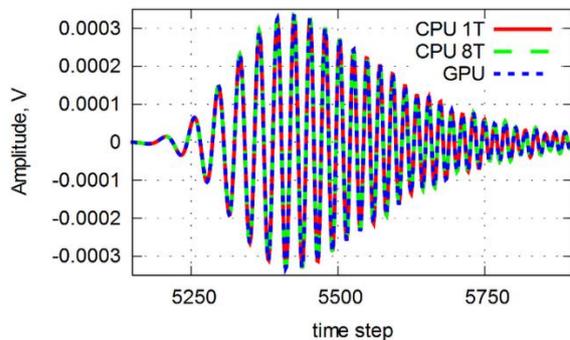
4. CUDA Toolkit sebagai software untuk menjalankan library CUDA.
5. GSVit sebagai program untuk menjalankan FDTD.
6. Gwyddion sebagai program untuk menganalisa hasil keluaran GSVit.
7. Maruo Editor untuk menampilkan dan mengolah data hasil berupa angka.
8. Microsoft Excel untuk mengolah data keluaran software yang berupa table.

Pengkodean FDTD diperlukan agar komputasi FDTD dapat berjalan baik di CPU maupun GPU. Pada tahap ini, library dan program dari GSVit dan Gwyddion akan digunakan. Penentuan dan evaluasi parameter dan variabel bagi FDTD juga dilaksanakan pada tahap ini. Setelah semua parameter dan variabel telah optimal, simulasi FBG dengan menggunakan FDTD pada CPU dan GPU dijalankan secara bergantian.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perbandingan hasil komputasi CPU dan GPU

Setelah mendapatkan konfigurasi perangkat keras dan perangkat lunak yang siap pakai, diperlukan evaluasi apakah komputasi GPU dapat diandalkan. Pada bagian ini, hasil antara komputasi CPU dan GPU akan dibandingkan. Pada komputasi CPU, hasil dari perhitungan tunggal maupun parallel juga akan ditampilkan. Hasil keluaran program FDTD ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar. 3. Perbandingan hasil komputasi CPU dan GPU.

Kita dapat melihat dari gambar tersebut, jika hasil dari CPU dan GPU sangatlah mirip. Pemeriksaan lebih lanjut menunjukkan kesalahan median antara GPU dan CPU berada di angka 0,007%, dengan kesalahan rata-rata 0,03%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil komputasi GPU dapat digunakan untuk menggantikan komputasi CPU.

B. Pengukuran daya beban komputer

Pemasangan watt meter yang digunakan untuk mengukur penggunaan daya komputer dipasang di antara stop kontak dan kabel power ke CPU komputer desktop. Pengukuran daya beban komputer hanya dilakukan pada satu set komputer desktop yang digunakan saja.

Saat mengukur daya beban komputer, akan

dipisahkan dalam beberapa kondisi, yaitu:

1. Kondisi diam, saat komputer menyala namun tidak ada program yang dijalankan.
2. Kondisi beban CPU, saat komputasi CPU menggunakan hanya 1 threads.
3. Kondisi beban CPU, saat komputasi CPU menggunakan seluruh 12 thread.
4. Kondisi beban GPU, saat menggunakan komputasi GPU.

Saat menjalankan program FDTD untuk mensimulasikan struktur Fiber Bragg Grating (FBG), dari hasil pembacaan watt meter tersebut didapatkan data yang ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL I
HASIL PEMBACAAN WATT METER PROGRAM FDTD

No	Jenis Komputasi	Daya (W)	Δ Daya (W)
1	Diam	55	0
2	CPU 1T	68	13
3	CPU 12	105	50
4	GPU	160	105

Dari pembacaan tabel 1 tersebut, dapat dilihat jika saat tanpa menjalankan program apapun, komputer telah menggunakan daya sekitar 55W. Dengan menggunakan CPU 1 thread, daya tambahan yang digunakan adalah 13W. Sedangkan saat komputasi CPU dengan seluruh 12 thread, penambahan daya yang digunakan adalah sekitar 50W jika dibandingkan saat komputer diam. Saat menggunakan komputasi GPU untuk simulasi FBG, penambahan daya yang digunakan adalah sekitar 105W.

C. Penggunaan energi saat komputasi CPU-GPU

Dengan mengetahui besaran daya yang digunakan saat komputasi FDTD, kita dapat mengetahui energi yang digunakan dengan memasukkan variabel durasi waktu menjalankan komputasi tersebut. Dengan demikian, dapat diketahui manakah metode komputasi yang menggunakan energi yang lebih sedikit.

Untuk keperluan analisis ini, daya yang dihitung adalah daya total saat komputasi dijalankan. Data penggunaan energi ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Dari tabel 2 tersebut dapat dilihat dengan jelas jika saat menggunakan FDTD untuk mensimulasikan struktur FBG, komputasi CPU menggunakan energi jauh lebih besar dibandingkan komputasi GPU. Komputasi CPU 12T dan 1T membutuhkan energi total berturut-turut sebesar 13,38 kali dan 27,54 kali lipat lebih besar dibandingkan energi total yang dibutuhkan komputasi GPU.

TABEL II
ENERGI TOTAL PADA KOMPUTASI CPU-GPU

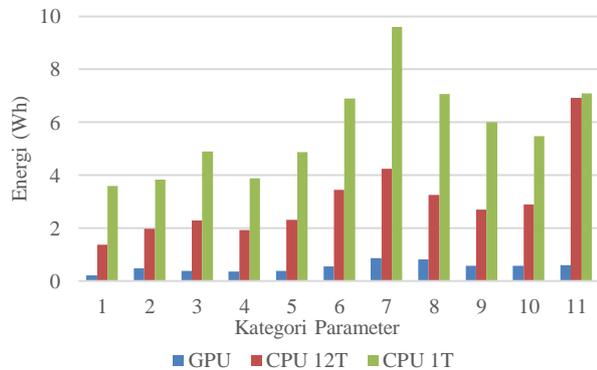
No	Jenis Komputasi	Daya (W)	Durasi	Energy (Wh)
1	CPU 1T	68	06:50:26	465,16
2	CPU 12T	105	02:09:10	226,04
3	GPU	160	00:06:20	16,89

Dengan didapatnya bukti bahwa komputasi GPU menggunakan energi yang jauh lebih kecil, penelitian ini dilanjutkan dengan mencoba beberapa skenario komputasi FDTD lainnya, selain hanya untuk mensimulasikan struktur FBG. Tabel 3 menampilkan

data penggunaan energi pada simulasi 3D FDTD pada berbagai kondisi komputasi dengan ukuran sel 200x200x200. Sedangkan grafik penggunaan energi total untuk masing-masing jenis komputasi dapat dilihat pada Gambar 4.

TABEL IV
PENINGKATAN ENERGI PADA KOMPUTASI CPU-GPU

No	Keterangan Komputasi	Daya (W)	Durasi (detik)	Energi (Wh)
1	CPU 1T	18	176,857	0,884
	CPU 12T	75	38,249	0,797
	GPU	90	5,166	0,129
2	CPU 1T	17	191,737	0,905
	CPU 12T	68	58,167	1,099
	GPU	96	11,609	0,310
3	CPU 1T	18	241,969	1,210
	CPU 12T	73	64,359	1,305
	GPU	91	9,656	0,244
4	CPU 1T	17	193,734	0,915
	CPU 12T	71	55,269	1,090
	GPU	93	8,909	0,230
5	CPU 1T	18	240,611	1,203
	CPU 12T	74	64,547	1,327
	GPU	92	9,635	0,246
6	CPU 1T	17	345,547	1,632
	CPU 12T	59	108,768	1,783
	GPU	95	13,169	0,348
7	CPU 1T	20	460,736	2,560
	CPU 12T	59	134,128	2,198
	GPU	84	22,119	0,516
8	CPU 1T	17	353,423	1,669
	CPU 12T	58	104,013	1,676
	GPU	84	21,457	0,501
9	CPU 1T	18	296,696	1,483
	CPU 12T	70	77,517	1,507
	GPU	96	13,642	0,364
10	CPU 1T	17	274,331	1,295
	CPU 12T	69	84,199	1,614
	GPU	93	13,910	0,359
11	CPU 1T	19	345,642	1,824
	CPU 12T	17	346,700	1,637
	GPU	95	14,609	0,386

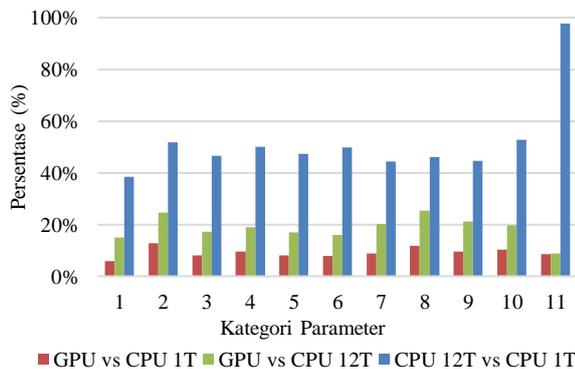


Gambar. 4. Grafik penggunaan energi total CPU dan GPU.

Tabel 3 dan Gambar 4 tersebut menunjukkan bahwa pada bermacam-macam parameter yang berbeda dari komputasi FDTD, komputasi GPU menggunakan energi yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan komputasi CPU. Hal tersebut didukung oleh beberapa hal antara lain:

1. Durasi waktu komputasi GPU jauh lebih cepat sekitar 7,87 dan 22,87 kali jika dibandingkan dengan durasi komputasi CPU 12 dan 1 thread.
2. Penggunaan daya rata-rata GPU yang hanya sekitar 1,24 dan 2,01 kali dibandingkan penggunaan daya saat komputasi CPU 12 dan 1 thread.

Untuk perbandingan penggunaan energi antara ketiga mode komputasi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar. 5. Grafik perbandingan energy komputasi CPU vs GPU.

Berdasarkan data yang ditampilkan pada gambar 5, rata-rata energi yang digunakan oleh GPU computing hanya membutuhkan 9,19% energi jika dibandingkan dengan komputasi CPU 1T, dan 18,53% jika dibandingkan dengan komputasi CPU 12T.

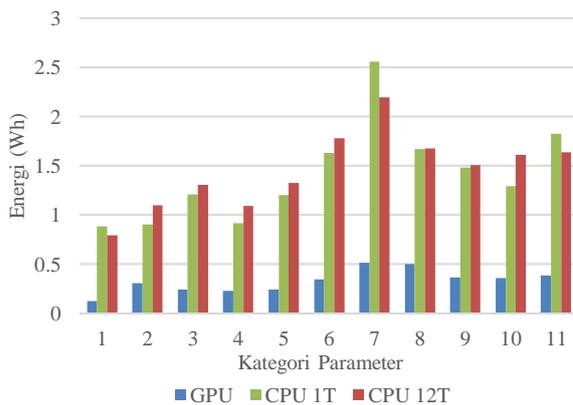
Dengan demikian dapat dilihat jika penggunaan komputasi GPU dapat menggunakan energi total yang jauh lebih kecil dibandingkan komputasi menggunakan CPU.

Pada tabel 3, gambar 4, dan gambar 5, daya yang dihitung adalah daya total yang dibutuhkan oleh CPU desktop secara keseluruhan. Pada analisa data

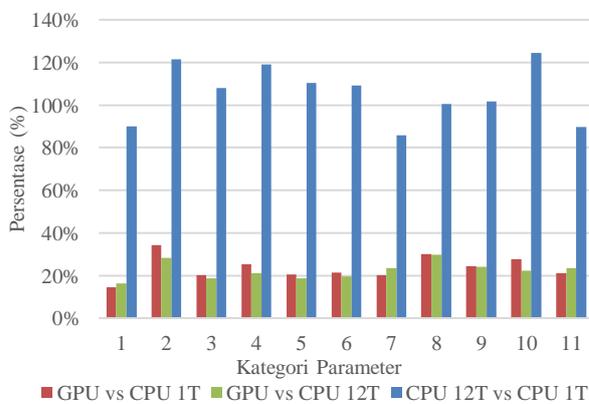
berikutnya, data daya yang diolah adalah selisih dari daya total dan daya saat komputer diam. Dengan hasil pengukuran daya diam berkisar 55watt, maka data peningkatan daya dan energi ditampilkan pada tabel 4.

Sedangkan untuk grafik selisih penggunaan energi selama komputasi aktif ditunjukkan pada gambar 6, dan perbandingan antara ketiga metode komputasi dapat dilihat pada pada gambar 7.

Dengan menyertakan variabel daya saat komputer diam sebagai tolok ukur peningkatan penggunaan daya, peningkatan penggunaan energi dengan menggunakan GPU masih lebih kecil dan efisien jika dibandingkan komputasi CPU. Pada gambar 6 dapat dilihat jika peningkatan penggunaan energi saat menggunakan CPU 1T seimbang dengan komputasi dengan CPU 12T. Hal ini berarti peningkatan jumlah threads CPU akan sebanding dengan peningkatan performa yang didapatkan. Sedangkan jika melihat data penggunaan energi GPU, gambar 7 menunjukkan jika energi yang digunakan saat komputasi GPU jauh lebih kecil, yaitu hanya 23,59% jika dibandingkan dengan komputasi CPU 1T, dan 22,32% terhadap CPU 12T. Hal tersebut menunjukkan jika peningkatan energi yang dibutuhkan oleh komputasi GPU sekitar 4,35 kali lebih kecil dari komputasi FDTD menggunakan CPU.



Gambar. 6. Pertambahan energi komputasi terhadap energi saat diam.



Gambar. 7. Perbandingan pertambahan konsumsi energi komputasi

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil komputasi paralel menggunakan GPU, dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain:

1. Program FDTD dapat berjalan dengan baik pada komputasi CPU dan komputasi GPU.
2. Daya rata-rata yang dibutuhkan untuk komputasi GPU lebih besar sekitar 2,35 kali dibanding daya yang dibutuhkan oleh komputasi CPU 1 thread, dan sekitar 1,5 kali daya yang diperlukan oleh komputasi CPU 12 tread.
3. Waktu rata-rata yang diperlukan oleh komputasi GPU lebih cepat sekitar 22,8 kali lipat dibanding komputasi CPU 1 thread, dan 7,8 kali jika dibandingkan dengan komputasi CPU 12 thread.
4. Dengan memperhitungkan daya dan waktu komputasi, didapatkan komputasi GPU memiliki efisiensi energi total paling tinggi dibandingkan dengan komputasi CPU 1 maupun 12 thread. Efisiensi tersebut memiliki nilai rata-rata 10,8 kali jika dibanding komputasi CPU 1 thread, dan 5,4 kali jika dibandingkan dengan komputasi CPU 12 thread.
5. Saat memperhitungkan kenaikan daya dari saat komputer diam dan daya komputer aktif melakukan komputasi, didapatkan pertambahan energi pada CPU 1 thread sebanding dengan pertambahan performanya pada komputasi CPU 12 thread. Sedangkan untuk komputasi GPU, kenaikan energinya lebih kecil sekitar 4,35 kali dibanding kenaikan energi komputasi CPU. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan GPU pada komputasi paralel FDTD dapat meningkatkan efisiensi energi yang digunakan selama proses simulasi.

REFERENSI

- [1] A. Tavlove, Computational electrodynamics, Norwood, USA: Artech House, 1995.
- [2] S. Adams, J. Payne dan R. Boppana, "Finite Difference Time Domain (FDTD) Simulations Using Graphics Processors," dalam *HPCMP Users Group Conference*, 2007.
- [3] P. Klapetek dan M. Valtr, "Near-field optical microscopy simulations using graphics processing units," *Surf. Interface Analysis*, vol. 42, pp. 1109-1113, 2010.
- [4] P. Klapetek dan e. al., "Rough surface scattering simulations using graphics cards," *Applied Surface Science*, vol. 256, pp. 5640-5643, 2010.
- [5] M. Y. A. A. Razak, "Transmission properties of Fiber Bragg Grating with GPU support," dalam *IEEE International Conference on Computational Electromagnetics (ICCEM)*, Kumamoto, 2017.
- [6] "2nd Gen Ryzen(TM) 5 2600 Desktop Processor for Gamers | AMD," Advanced Micro Devices, Inc., [Online]. Available: <https://www.amd.com/en/products/cpu/amd-ryzen-5-2600>. [Diakses 11 Desember 2018].
- [7] "GeForce GTX 1060 Graphics Cards | NVIDIA GeForce," Nvidia, [Online]. Available: <https://www.nvidia.com/en-us/geforce/products/10series/geforce-gtx-1060/>. [Diakses 11 Desember 2018].
- [8] K. S. Yee, "Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell's Equations in Isotropic Media," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, pp. 302-307, 1966.
- [9] J. Sanders dan E. Kandrot, *CUDA by Example: An Introduction to General-Purpose GPU Programming*, Boston: Addison-Wesley, 2011.
- [10] D. B. Kirk dan W.-m. W. Hwu, *Programming Massively Parallel Processors*, Elsevier, 2010.
- [11] M. Y. A. A. Razak, "Study on Transmission Properties of Fiber Bragg Grating with GPU Support," Miyazaki, 2017.