



# ***Reconfigurable Computing* sebagai Solusi Efisiensi Energi menuju Komputasi Berkelanjutan**

**Petrus Mursanto**

Pidato Pengukuhan Guru Besar Tetap  
**Bidang *Digital Systems and Lab***  
Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia  
Depok, 13 Desember 2023



# ***Reconfigurable Computing* sebagai Solusi Efisiensi Energi menuju Komputasi Berkelanjutan**

**Petrus Mursanto**

Pidato Pengukuhan Guru Besar Tetap  
**Bidang *Digital Systems and Lab***  
Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia  
Depok, 13 Desember 2023

**Reconfigurable Computing sebagai Solusi Efisiensi Energi menuju  
Komputasi Berkelanjutan**

ISBN : 978-623-333-643-7

E-ISBN : 978-623-333-644-4 (PDF)

©Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip, memperbanyak dan menerjemahkan sebagian atau  
seluruh isi buku ini tanpa ijin tertulis dari penulis dan penerbit.

Cetakan 2023

Diterbitkan pertama kali oleh UI Publishing

Anggota IKAPI & APPTI

Jalan Salemba 4, Jakarta 10430

0818 436 500

E-mail: [uipublishing@ui.ac.id](mailto:uipublishing@ui.ac.id)

Selamat pagi Bapak, Ibu dan Saudara/i sekalian.

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh, Salam sejahtera untuk kita semua, Syalom, Om Swastiastu, Namu Buddhaya, dan Salam Kebajikan.

Yang saya hormati:

- ❖ Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia
- ❖ Direktur Jendral Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia
- ❖ Rektor dan para Wakil Rektor serta Sekretaris Universitas Indonesia
- ❖ Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat Universitas Indonesia
- ❖ Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik Universitas Indonesia
- ❖ Ketua, Sekretaris dan Anggota Dewan Guru Besar Universitas Indonesia
- ❖ Para Dekan serta para Direktur Sekolah dan Program Vokasi di Lingkungan Universitas Indonesia
- ❖ Ketua, Sekretaris, dan Anggota Dewan Guru Besar Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia
- ❖ Ketua, Sekretaris dan Anggota Senat Akademik Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia
- ❖ Seluruh jajaran manajemen: Wakil Dekan, Koordinator Program Studi dan para Manajer di Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia
- ❖ Rekan kolega Dosen dan para tenaga kependidikan serta alumni Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia
- ❖ Para Guru Besar, sahabat, kerabat dan seluruh tamu undangan

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa karena kelimpahan berkat dan karuniaNya yang mengantar kita berkumpul dalam keadaan sehat dalam forum terhormat ini. Perkenankan saya menghaturkan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada Pemerintah Republik Indonesia yang dalam hal ini diwakili oleh Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia yang telah memberikan kepercayaan kepada saya untuk memangku jabatan Guru Besar dalam bidang ***Digital Systems and Lab***.

Terima kasih kepada Bapak Rektor Universitas Indonesia atas kesempatan yang diberikan pada saya untuk menyampaikan pidato pengukuhan Guru Besar dengan judul ***“Reconfigurable Computing sebagai Solusi Efisiensi Energi menuju Komputasi Berkelanjutan”***.

## **1. Era Digital Terkini**

Saat ini kita hidup di era teknologi informasi dan komunikasi (TIK), dengan berbagai kemudahan dan fasilitas yang dirasakan dalam hampir semua aspek kehidupan. Dari bidang pendidikan, kesehatan, komunikasi, ekonomi, dan perdagangan hingga transportasi dan perdagangan, teknologi digital telah membawa perubahan dan dampak yang luar biasa.

Tidak hanya merombak cara kita berkomunikasi dan mengakses informasi, TIK juga menjadi instrumen penting dalam mengelola kelimpahan data yang bertumbuh secara eksponensial. Pada tahun 2021, menurut studi dari Forbes, setiap hari dihasilkan data baru sebanyak 2.5 quintillion ( $10^{18}$ ) bytes [1]. Adopsi teknologi digital telah meningkatkan produktivitas dan efisiensi dunia industri. McKinsey melaporkan sekitar 80% perusahaan yang melakukan transformasi digital telah mengalami peningkatan pada produktivitas dan margin keuntungan mereka [2].

Teknologi digital juga memainkan peran penting dalam menghadapi tantangan global, termasuk mengawal kita melalui masa pandemi COVID-19. Pada tahun 2021, penggunaan *telehealth* di Amerika Serikat meningkat 38 kali, menurut laporan dari McKinsey & Company [3].

Sementara itu, nilai pasar teknologi digital diperkirakan mencapai US\$ 3 triliun pada tahun 2021 menurut data dari World Economic Forum [4].

Di Indonesia, adopsi TIK meningkat sangat signifikan. Jumlah pengguna internet telah mencapai 215,6 juta pada tahun 2023, atau sekitar 78,19% dari total populasi, berdasarkan survey yang dilakukan oleh Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII) [5]. Dalam konteks global, penetrasi internet telah mencapai 59% dari populasi dunia pada tahun 2021 atau 4,6 miliar, sebuah lonjakan dramatis dari hanya 413 juta pada tahun 2000 [6].

Penetrasi internet yang tinggi ini mempengaruhi hampir semua sektor industri di Indonesia. Bank Indonesia melaporkan transaksi *e-commerce* mencapai Rp 220 triliun pada tahun 2020 [7]. Terjadi lonjakan tajam dalam adopsi *e-learning* dipicu oleh pandemi Covid19, dengan pasar global diharapkan mencapai US\$ 370 miliar pada tahun 2026 [8].

## **2. Kilas Balik Sejarah Digital**

Teknologi digital yang kini menjadi tulang punggung peradaban manusia, memulai perjalanannya dari gagasan inovatif yang diusulkan oleh **George Boole** di pertengahan abad ke-19. Boole memperkenalkan sebuah teori yang mampu merevolusi matematika dan meletakkan dasar logika digital yang kita kenal dalam komputasi sekarang ini [9]. Dengan teorinya, ia menunjukkan bagaimana operasi logika sederhana dapat direpresentasikan dalam bentuk aljabar, yang pada akhirnya menjadi kunci dalam disain sirkuit dan algoritma komputasi digital.

Memasuki abad ke-20, kemajuan dalam *switching* mekanik menandai implementasi awal dari prinsip Boolean dalam teknologi. Puncaknya ketika Claude Shannon pada tahun 1938, menerbitkan karyanya yang revolusioner, "*A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*". Shannon mengaplikasikan aljabar Boolean ke relai dan mekanisme *switching*, yang menjadi dasar rancangan sirkuit digital sebagaimana kita kenal sekarang [10]. Makalah Shannon tidak hanya

menerjemahkan logika matematis ke dalam bentuk teknis tetapi juga memperlihatkan bagaimana konfigurasi sirkuit elektronik untuk menjalankan fungsi komputasi.

Setelah Perang Dunia II, teknologi digital memasuki fase revolusioner dengan penemuan transistor pada tahun 1947 oleh tim dari Bell Labs [11]. Hal ini membuka era komputer generasi pertama yang berlangsung dari akhir 1940-an hingga pertengahan 1950-an. Saat itu, mesin ENIAC menjadi ikon, dibangun dengan penggunaan sekitar 18,000 tabung vakum dan berat hingga 30 ton [12]; sebuah capaian teknologi terhebat pada era tersebut yang penggunaannya masih terbatas pada berbagai aplikasi dan proyek yang dibiayai, dijalankan, atau diawasi oleh pemerintah.

Perkembangan berikutnya adalah penggantian tabung vakum dengan transistor pada 1950-an, yang dilanjutkan dengan kemunculan *integrated circuit* (IC) di tahun 1960-an. Perubahan ini memungkinkan komputer menjadi lebih *compact*, lebih murah, dan lebih andal. Pada masa tersebut lahirnya *personal computer* (PC) memulai era baru, diawali dengan Altair 8800 di tahun 1975, disusul oleh Apple I di tahun 1976, dan IBM PC pada 1981. Sebuah laporan dari International Data Corporation (IDC) mencatat bahwa lebih dari 15 juta PC terjual di akhir tahun 1980-an [13]; menggambarkan bagaimana komputer pribadi telah menjadi bagian dalam kehidupan sehari-hari.

Internet, yang awalnya merupakan proyek ARPANET pada akhir 1960-an, berkembang menjadi entitas komersial pada tahun 1990-an dan mengalami pertumbuhan yang sangat cepat. Data dari Internet World Stats menunjukkan bahwa pengguna internet melonjak dari 16 juta di tahun 1995 menjadi lebih dari 5,3 miliar pada tahun 2023 [14]. Jaringan internet telah merevolusi cara kita mengakses dan menyebarkan informasi.

Era mobile yang dimulai dengan hadirnya Motorola DynaTAC 8000X di tahun 1973 dan berlanjut ke era *smartphone* di tahun 2000-an telah mengubah lanskap penggunaan internet secara radikal. Statistik

menunjukkan bahwa jumlah pengguna *smartphone* global mencapai angka 6,6 miliar pada tahun 2022 [15], sebuah indikasi betapa teknologi seluler telah bertumbuh secara signifikan.

Dalam hal perkembangan *hardware*, jumlah transistor dalam chip silikon telah melonjak lebih dari 100 kali lipat dari tahun 1971 hingga 2019 sesuai **Hukum Moore** [16]. Aplikasi sistem keamanan siber dengan algoritma enkripsi canggih seperti AES mengimplementasikan operasi logika Boolean untuk mengamankan data, mempersulit peretasan dan memastikan privasi informasi [17]. Prinsip Boolean, yang hanya memiliki elemen sederhana 0 dan 1, dapat mengontrol sistem yang sangat kompleks. Contohnya, roket Falcon Heavy SpaceX yang berhasil diluncurkan pada tahun 2018, dijalankan oleh ribuan baris kode yang pada intinya adalah aplikasi dari logika biner [18].

Setiap tahap inovasi telah memperluas batasan kemungkinan yang dapat dicapai dengan TIK, salah satunya adalah perkembangan teknologi nirkabel. Dengan berkembangnya teknologi seperti *Internet of Things* (IoT) dan *artificial intelligence* (AI), kita menyaksikan bagaimana digitalisasi terus mengambil peran ke dalam struktur sosial kita. Sebuah riset pasar yang dilakukan oleh Markets and Markets memperkirakan bahwa IoT global tumbuh menjadi US\$ 561 miliar pada tahun 2022 [19], cerminan dampak signifikan dari teknologi ini.

Hukum Moore yang lama menjadi patokan perkembangan *hardware* komputasi, mulai menunjukkan tanda pelambatan. Menurut laporan dari Semiconductor Industry Association (SIA), industri merespon dengan peralihan ke teknologi alternatif seperti *parallel computing* demi mempertahankan momentum inovasi [20]. Antara tahun 2010 dan 2020, penggunaan *Graphics Processing Unit* (GPU) untuk komputasi parallel telah meningkat hingga 10 kali lipat [21]. Hal ini menunjukkan upaya adaptasi oleh industri demi mempertahankan laju perkembangan teknologi.



### 3. Evolusi Digital

Evolusi digital yang kita alami saat ini adalah hasil dari serangkaian inovasi yang berlangsung selama beberapa dekade. Masing-masing *milestone* menandai titik penting dalam perjalanan kita menuju era digital. Salah satu tonggak sejarah yang paling berpengaruh dalam evolusi ini adalah munculnya *personal computer* (PC) di awal tahun 1980-an.

Kehadiran PC telah mengubah cara masyarakat mengakses teknologi dan secara fundamental mengubah interaksi kita dengan teknologi. PC menjadikan sebagian pekerjaan lebih mudah dilakukan dan nyata berdampak pada kehidupan lebih banyak orang. Sejak transistor dan teori Boolean telah meletakkan dasar untuk hardware digital, kemajuan signifikan lainnya yang benar-benar memperluas jangkauan teknologi ini adalah diperkenalkannya microprocessor oleh Intel, khususnya mulai dari seri 8080 [22].

Microprocessor Intel 8080, yang diluncurkan pada tahun 1974, menjadi salah satu chip yang paling krusial dalam sejarah komputasi personal. Chip ini mengawali munculnya komputer mikro, yang kemudian berkembang menjadi *personal computer*. Ini adalah langkah revolusioner yang memungkinkan komputasi beralih dari lingkungan institusi besar ke ruang tamu dan meja kerja di rumah-rumah.

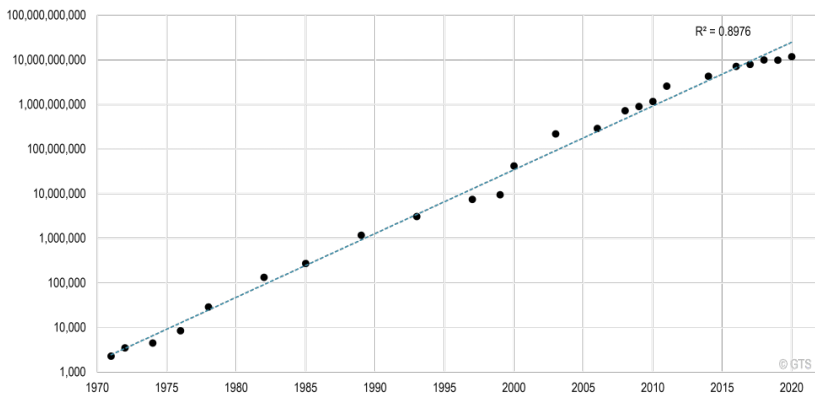
Evolusi berlanjut dengan diperkenalkannya seri Pentium oleh Intel pada tahun 1993 [22]. Dibandingkan dengan generasi sebelumnya, Pentium menawarkan kecepatan dan efisiensi yang jauh lebih besar, membuka peluang untuk aplikasi yang lebih kompleks dan pengalaman komputasi yang lebih kaya. Hal ini menandai transisi ke era multimedia, grafik 3D, dan konektivitas internet yang lebih luas.

Saat ini, kita berada di era prosesor Intel Core i9, sebuah monster komputasi yang berkembang jauh dari akarnya yang sederhana. Dilengkapi dengan teknologi seperti *multi-threading* dan *turbo boost*, Core i9 adalah puncak dari apa yang bisa dicapai dalam komputasi personal terkini [23]. Ini bukan hanya memfasilitasi tugas-tugas

komputasi sehari-hari tetapi juga mumpuni untuk menjalankan aplikasi yang membutuhkan sumber daya secara intensif, seperti kecerdasan buatan, analitik data besar, dan grafik komputer tingkat tinggi.

Perjalanan dari Intel 8080 hingga Core i9 menunjukkan bagaimana sebuah teknologi bisa bertransformasi dan berkembang, selaras dengan kebutuhan dan aspirasi manusia. Peran mikroprosesor semakin meningkat untuk menangani fungsi yang makin kompleks tergambarkan oleh pertumbuhan jumlah transistor dalam chip mikroprosesor sesuai Hukum Moore (lihat Gambar 1). Namun peningkatan ini semakin mendekati batas fisik skalabilitas [24]. Namun, sejarah telah menunjukkan, setiap kali mendekati sebuah batas, inovasi baru selalu menemukan cara untuk melanjutkan kemajuan.

Setiap langkah penting dalam evolusi ini bukan hanya menambah kecanggihan sistem yang ada tetapi juga membuka akses ke bentuk-bentuk baru dari interaksi digital, inovasi, dan ekspresi manusia.



**Gambar 1. Hukum Moore: Transistor per Microprocessor 1971-2020**

#### 4. *Grid Computing*

Revolusi digital telah memacu percepatan dalam teknologi informasi, di mana pertumbuhan dan kebutuhan komputasi menunjukkan peningkatan yang fantastis. Salah satu tanda nyata dari pertumbuhan ini adalah meningkatnya jumlah komputer pribadi (PC) yang terdapat di berbagai rumah. Kemajuan digital ini, bersamaan dengan harga teknologi yang kian terjangkau, membuat semakin banyak keluarga yang memiliki satu atau bahkan lebih PC di rumah mereka. Namun, ada ironi yang menyertai fenomena ini: walaupun PC telah menjadi elemen krusial dalam kehidupan kita sehari-hari, banyak di antara perangkat-perangkat tersebut yang seringkali hanya digunakan dalam waktu singkat dan selanjutnya menganggur, menghabiskan mayoritas waktunya dalam keadaan tidak aktif.

Di sisi lain, dengan tumbuhnya algoritma yang semakin kompleks, kebutuhan akan pendekatan *parallel computing* menjadi semakin mendesak. *Parallel computing* memungkinkan pemrosesan informasi secara simultan dengan melibatkan banyak komponen komputasi untuk menyelesaikan tugas secara bersamaan. *Grid Computing* muncul sebagai solusi untuk mengatasi tantangan ini. Ide dasar komputasi *grid* adalah mengintegrasikan daya komputasi yang *idle* dari PC-PC di rumah, kantor, kampus, atau tempat lain ke dalam sebuah jaringan untuk meningkatkan kapasitas komputasi. *Grid Computing* memungkinkan integrasi dari sumber daya komputasi yang tersebar dan sering kali tidak terpakai (*idle*) dari seluruh dunia untuk membentuk satu "superkomputer virtual" [25].

Dengan memanfaatkan *computing power* yang *idle*, komputasi *grid* memungkinkan pemrosesan tugas-tugas yang kompleks dengan kecepatan yang sebelumnya tidak dapat dicapai. Namun, ada harga yang harus dibayar untuk kecepatan ini. Keterlibatan node-node komputasi yang meningkat dalam jaringan mengakibatkan konsumsi daya secara keseluruhan meningkat. Sebuah studi menunjukkan bahwa *data center* di seluruh dunia mengkonsumsi sekitar 200 terawatt jam (TWh) setiap tahunnya, setara dengan konsumsi energi sekitar 6% dari total konsumsi

listrik dunia [26]. Dengan pertumbuhan eksponensial dalam komputasi *grid*, angka ini hanya akan terus meningkat.

Era digital saat ini menuntut efisiensi, bukan hanya dalam hal kecepatan komputasi, tetapi juga dalam hal konsumsi energi. Pada saat yang sama, pendekatan komputasi paralel mulai mencapai batas kemampuannya, terutama dalam hal skalabilitas dan efisiensi daya. Meskipun komputasi *grid* dan *parallel computing* telah membawa revolusi dalam kecepatan dan kinerja komputasi, tantangan *green computing* memerlukan solusi yang lebih inovatif. Dalam konteks ini, perhatian industri dan komunitas akademik mulai beralih ke *green computing* – pendekatan untuk merancang dan menggunakan sistem komputasi yang ramah lingkungan.

## **5. Green Computing**

Sejalan dengan kebutuhan untuk mendukung *green computing*, **Reconfigurable Computing (RC)** muncul sebagai solusi yang menjanjikan. Dibandingkan dengan *Central Processing Unit* (CPU) tradisional atau GPU, RC menawarkan fleksibilitas tinggi dengan kemampuan untuk mengonfigurasi ulang sirkuit sesuai kebutuhan aplikasi. Hal ini berarti bahwa RC dapat dioptimalkan untuk menjalankan tugas-tugas tertentu dengan efisiensi daya yang jauh lebih baik. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa RC dapat menghasilkan peningkatan efisiensi energi hingga 10 kali lipat dibandingkan dengan solusi berbasis CPU atau GPU tradisional untuk berbagai aplikasi tertentu [27].

Dengan kemampuan untuk mengadaptasi diri sesuai kebutuhan dan sifatnya yang inheren efisien dari segi daya, RC menawarkan jalan keluar dari dilema antara kebutuhan untuk komputasi berperforma tinggi dan kebutuhan untuk menjaga bumi tetap hijau. *Reconfigurable Computing*, dengan fleksibilitas dan efisiensi daya yang ditawarkannya, hadir sebagai solusi terbaik untuk masa depan komputasi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Dalam upaya meningkatkan kinerja komputasi, kita juga perlu mulai mempertimbangkan dampaknya terhadap lingkungan. Menurut data dari Lawrence Berkeley National Laboratory, pusat data di seluruh dunia mengkonsumsi sekitar 205 terawatt jam (TWh) pada tahun 2018, yang setara dengan konsumsi energi oleh beberapa negara kecil [28]. Jumlah daya yang dikonsumsi tersebut setara dengan 1% dari konsumsi listrik global dan emisi karbon dioksida lebih dari 100 juta ton per tahun [29]. Pertumbuhan data yang eksponensial—diperkirakan akan mencapai 175 Zettabyte pada tahun 2025 [30]—memerlukan lebih banyak sumber daya komputasi, yang pada gilirannya akan memerlukan lebih banyak energi. Sementara itu, laporan PBB memperingatkan bahwa jika tren saat ini berlanjut, konsumsi energi oleh teknologi informasi bisa meningkat tiga kali lipat dalam dekade mendatang [31].

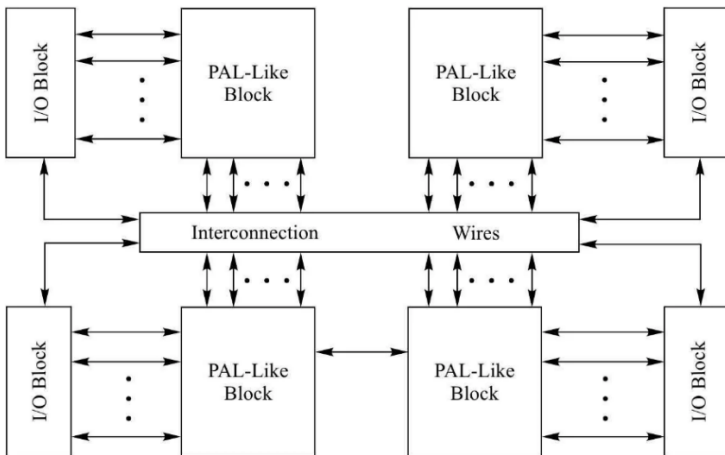
Dalam konteks ini, kebutuhan untuk beralih ke paradigma *Green Computing* menjadi sangat mendesak. Dengan fokus pada efisiensi energi, desain berkelanjutan, dan etika lingkungan, *Green Computing* bukan hanya sebuah pilihan tetapi sebuah arah yang menjadi tujuan bersama. Diperlukan komitmen global agar industri teknologi dapat tumbuh dan berkembang tanpa memberikan beban yang tidak dapat dipulihkan pada planet ini. Menurut sebuah studi, implementasi efisiensi energi di pusat data bisa mengurangi konsumsi energi hingga 87% [32].

## **6. Reconfigurable Computing**

*Reconfigurable Computing* (RC) menawarkan solusi atas tantangan efisiensi energi dalam mencapai *Green Computing*. RC adalah sebuah paradigma komputasi yang memungkinkan arsitektur perangkat keras untuk dikonfigurasi ulang secara dinamis guna menjalankan algoritma tertentu lebih efisien dibandingkan dengan prosesor umum. Pendekatan ini memungkinkan sumber daya komputasi yang lebih optimal dan penggunaan energi yang lebih hemat. Terdapat beberapa metode untuk proses komputasi yang dapat dikonfigurasi ulang, antara lain melalui

penggunaan **CPLD** (*Complex Programmable Logic Devices*), **FPGA** (*Field-Programmable Gate Arrays*), **CGRA** (*Coarse-Grained Reconfigurable Arrays*), dan **RISP** (*Reconfigurable Instruction Set Processors*).

Setiap metode memiliki karakteristik yang unik dan menawarkan tingkat efisiensi energi yang berbeda-beda. CPLD cocok untuk aplikasi dengan kebutuhan logika yang lebih sederhana dan jumlah I/O yang banyak. Sementara itu, FPGA sangat efektif untuk desain yang lebih kompleks, yang membutuhkan fleksibilitas tinggi dan kinerja paralel. Meskipun CGRA dan RISP juga merupakan pilihan yang *viable* dalam RC, berdasarkan fleksibilitas, popularitas, dan pangsa pasar, pembahasan berikut akan lebih terfokus pada CPLD dan FPGA.



**Gambar 2. Architecture (Block diagram) of CPLD [33]**

Gambar 2 memperlihatkan komponen yang membangun *Complex Programmable Logic Device* (CPLD) sebagai berikut [33]:

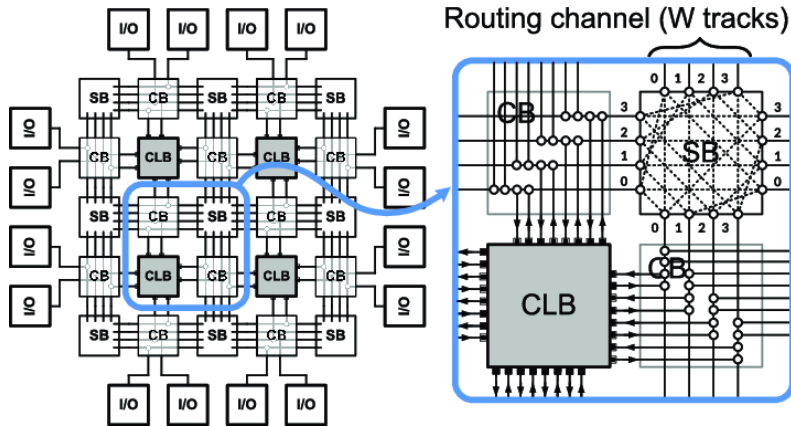
- **I/O (Input/Output) Block:** blok input dan output yang menghubungkan CPLD ke lingkungan eksternal, memungkinkan interaksi dengan perangkat atau sistem lain.

- **PAL-Like Block:** blok logika dalam CPLD. PAL berarti Programmable Array Logic atau Logika Array Terprogram. Blok PAL-like adalah unit yang dapat diprogram yang dapat melakukan fungsi logika. Setiap blok dapat melakukan berbagai operasi logis berdasarkan cara mereka diprogram.
- **Interconnection:** garis-garis interkoneksi yang dapat diprogram di dalam CPLD. Mereka memungkinkan koneksi yang fleksibel antara berbagai blok PAL-like dan Blok I/O, yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan khusus dari aplikasi yang menggunakan CPLD.
- **Wires:** jalur konduktif untuk interkoneksi, digunakan untuk menghubungkan blok logika dan blok I/O dalam perangkat.

CPLD memiliki blok I/O untuk interaksi dengan lingkungan eksternal, blok PAL-like yang merupakan inti dari logika yang dapat diprogram, serta jalur interkoneksi yang relatif tetap [33]. Hal ini memberikan CPLD kecepatan dan efisiensi tinggi untuk tugas dengan kompleksitas yang lebih rendah.

Sedangkan FPGA memiliki CLB untuk operasi logika yang kompleks, blok I/O untuk komunikasi eksternal, serta jaringan interkoneksi yang sangat fleksibel dan dapat dikonfigurasi ulang [34]. Ini memungkinkan FPGA jauh lebih fleksibel untuk disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi yang kompleks dan dinamis.

Perbedaan ini menjadikan CPLD dan FPGA sebagai kandidat yang cocok untuk berbagai aplikasi dalam usaha mencapai *Green Computing*. CPLD dengan konsumsi energi yang lebih rendah cocok untuk aplikasi skala kecil hingga menengah, sedangkan FPGA dengan kapasitas yang lebih besar dan sumber daya yang lebih fleksibel, ideal untuk aplikasi yang memerlukan adaptasi cepat dan sering terhadap fungsi-fungsi baru.



**Gambar 3. Island-style global FPGA architecture. A unit tile consists of Configurable Logic Block (CLB), Connect Box (CB) and Switch Box (SB) [34]**

Struktur FPGA (Field-Programmable Gate Array) dalam Gambar 3 memiliki bagian-bagian [34]:

- **CLB (Configurable Logic Block):** merupakan unit dasar dari FPGA yang berisi logika yang dapat diprogram untuk melakukan fungsi-fungsi digital.
- **I/O Blocks:** jalur masuk dan keluar untuk sinyal yang berhubungan dengan FPGA. Blok-blok ini memungkinkan komunikasi dengan komponen eksternal.
- **Routing Channel (W tracks):** jalur untuk menghubungkan secara fleksibel antar berbagai blok di FPGA, yaitu: CLBs, I/O blocks, dan elemen-elemen lainnya dalam FPGA.
- **SB (Switch Block):** merupakan interkoneksi antar jalur routing, titik-titik di mana jalur dapat "berbelok" atau berhubungan dengan jalur lain.
- **CB (Connection Block):** memungkinkan jalur routing untuk terhubung dengan blok logika atau I/O blocks.



Teknologi semikonduktor memungkinkan FPGA menjadi lebih hemat energi dengan transisi ke ukuran node semikonduktor yang lebih kecil sehingga meningkatkan densitas gerbang dan kecepatan *switching*. Penelitian menunjukkan bahwa chip FPGA modern dengan node semikonduktor 7nm dapat menawarkan kecepatan *switching* hingga 30% lebih cepat dibandingkan dengan generasi sebelumnya [35]. Selain itu, desain yang efisien pada tingkat transistor seperti teknologi FinFET memungkinkan FPGA mengurangi konsumsi energi hingga 40% dibandingkan dengan teknologi planar [36].

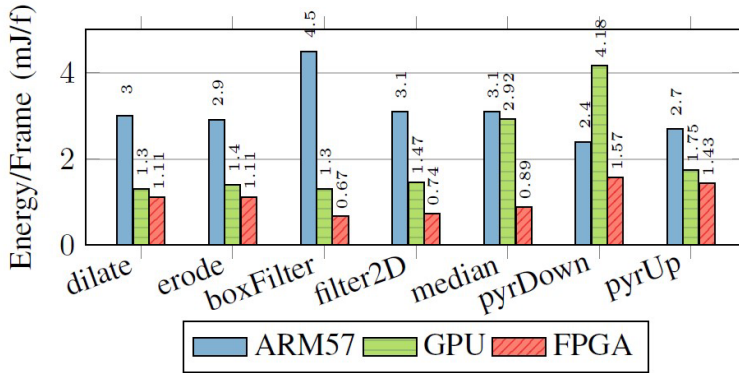
CPLD dan FPGA masing-masing menawarkan kelebihan sebagai pilihan yang tepat untuk aplikasi tertentu dalam mewujudkan komputasi yang “hijau” dan berkelanjutan. Pemilihan antara keduanya bergantung pada sejumlah faktor, termasuk kompleksitas desain, kebutuhan kinerja, dan pertimbangan konsumsi energi [37]. Melalui investasi dan penelitian yang berkesinambungan, CPLD dan FPGA menjadi komponen penting dalam perjalanan industri teknologi menuju masa depan yang lebih ramah lingkungan dan efisien. Kompleksitas yang tinggi dituntut dalam sebagian besar algoritma untuk diimplementasikan oleh RC, menjadikan FPGA lebih banyak digunakan dibanding CPLD.

## **7. Perbandingan Implementasi Berbasis CPU, GPU, dan FPGA**

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk melihat konsumsi energi dan perolehan kinerja dalam implementasi fungsi spesifik berbasis CPU, GPU dan FPGA. Hasilnya dipakai untuk membandingkan penghematan energi dan peningkatan kinerja dalam berbagai operasi pengolahan citra atau *vision kernels* [38], implementasi akselerator dalam *convolutional neural network* (CNN) [39], dan analisis video otomatis aliran lalu lintas dalam aplikasi *smart city* [40].

Gambar 4 menampilkan perbandingan konsumsi energi per frame untuk berbagai operasi kernel filter. FPGA tidak hanya unggul dalam

performa tetapi juga sangat efisien dalam konsumsi energi ketika dibandingkan dengan CPU dan GPU [38].



Gambar 4. Filter Operation Kernel

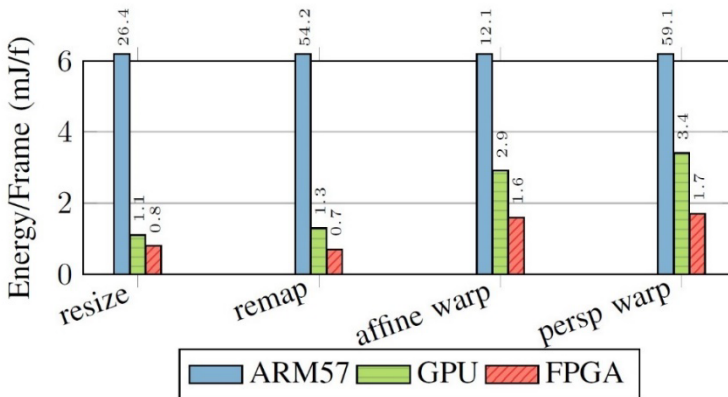
Operasi kernel filter yang diujicobakan adalah sebagai berikut:

- **Dilate dan Erode:** kedua operasi ini umumnya digunakan untuk mengembangkan atau mengurangi objek dalam sebuah citra. Dalam kedua operasi ini, FPGA menunjukkan konsumsi energi yang paling rendah per frame atau efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan GPU dan CPU,
- **Box Filter dan Filter2D:** Box Filter digunakan untuk melakukan *smoothing* citra, sedangkan Filter2D adalah operasi konvolusi yang lebih umum dengan kernel yang bisa disesuaikan. FPGA menunjukkan efisiensi energi yang lebih baik dalam kedua operasi ini.
- **Median:** Filter median adalah teknik pemrosesan citra yang digunakan untuk mengurangi *noise*. Grafik menunjukkan bahwa penggunaan FPGA untuk operasi filter median sangat efisien dari segi energi, jauh lebih baik daripada CPU dan GPU.
- **PyrDown dan PyrUp:** kedua operasi ini terkait dengan pengolahan citra piramidal, di mana PyrDown mengurangi resolusi citra,

sementara PyrUp meningkatkannya. Di kedua operasi ini FPGA menunjukkan konsumsi energi yang paling rendah.

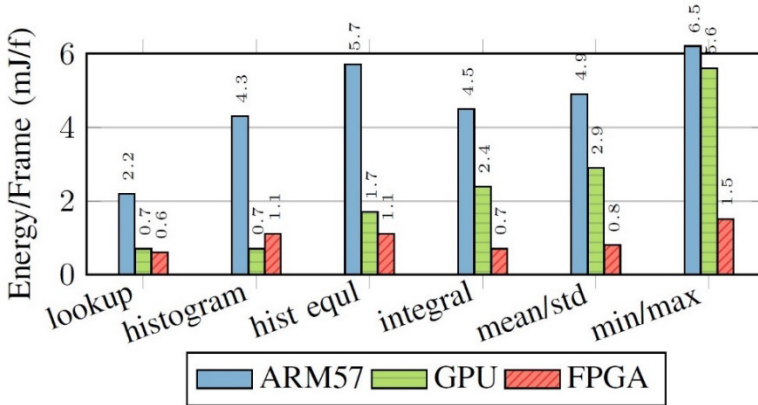
Eksperimen menunjukkan efisiensi FPGA dalam melakukan operasi transformasi geometris pada citra, sebagai komponen penting dalam aplikasi visi komputer. Gambar 5 memperlihatkan FPGA mengkonsumsi energi yang jauh lebih rendah daripada CPU dan GPU untuk operasi *resize*, *remap*, *affine warp*, *persp warp* [38].

- **Resize:** operasi mengubah ukuran citra.
- **Remap:** operasi untuk pemetaan ulang piksel dalam citra, sering kali untuk koreksi geometris atau efek khusus.
- **Affine Warp:** transformasi yang mempertahankan titik, garis lurus, dan rasio jarak; transformasi affine melibatkan rotasi, translasi, skalasi, dan shear.
- **Perspective Warp:** transformasi mengubah citra untuk mengoreksi atau meniru perspektif.



**Gambar 5: Geometrics Transform Operations Kernels**

Demikian halnya Gambar 6 membuktikan keunggulan FPGA untuk berbagai operasi analisis citra seperti: *lookup*, *histogram*, *histogram equalization*, *integral image*, *mean/standar deviation*, dan *minimum/maximum* [38].



**Gambar 6. Image Analysis Operations Kernels**

- **Lookup:** operasi yang melibatkan penggantian nilai piksel dalam citra berdasarkan tabel tertentu.
- **Histogram:** operasi umum dalam pemrosesan citra untuk mendapatkan distribusi intensitas piksel.
- **Histogram Equalization:** operasi untuk meningkatkan kontras citra dengan mengatur sebaran intensitas piksel.
- **Integral Image:** operasi untuk menghitung citra integral yang menjadi dasar dari banyak algoritma pemrosesan citra.
- **Mean/Standard Deviation:** operasi menghitung rata-rata dan deviasi standar piksel dalam citra.
- **Minimum/Maximum:** menemukan nilai pixel terkecil dan yang terbesar dalam suatu citra atau wilayah tertentu dari citra.

FPGA dapat dikonfigurasi ulang untuk melakukan proses komputasi yang intensif, seperti jaringan saraf konvolusional (CNN). Akselerator sering dibutuhkan dalam aplikasi pengenalan gambar dan video, yang merupakan inti dari berbagai aplikasi AI modern [39]. FPGA menawarkan solusi yang memaksimalkan efisiensi operasional melalui penyesuaian jumlah operasi paralel dan penggunaan *pipelining*.

Untuk menguji efektivitas implementasi CNN, digunakan dataset citra sebagai standar dan membandingkan kinerja model CNN yang diimplementasikan pada FPGA terhadap implementasi berbasis CPU dan GPU. Hasil eksperimen menegaskan keunggulan FPGA sebagai platform untuk akselerasi CNN dalam hal peningkatan kinerja dan efisiensi energi. Dalam konteks ini, FPGA memungkinkan kustomisasi dan optimisasi lebih lanjut yang tidak mungkin dilakukan oleh CPU atau GPU.

Dalam pengembangan kota cerdas (*smart city*), FPGA menjadi opsi dalam upaya meningkatkan kualitas hidup sekaligus mengurangi kebutuhan sumber daya dan polusi. Optimisasi aliran lalu lintas melalui analitik video otomatis adalah salah satu contoh aplikasi yang memanfaatkan performa tinggi dan efisiensi energi FPGA [40].

Tabel 1 menyajikan hasil perbandingan antara implementasi berbasis FPGA (dengan dua jenis chip, Ultrascale+ dan Virtex 7), GPU, dan CPU berdasarkan tiga parameter: waktu perangkat (Device time), daya perangkat (Device power), dan energi yang digunakan (Energy); semua diukur dalam konteks operasi *background subtraction* [40].

**Tabel 1. Power Consumption per frame for background subtraction**

Parameters	FPGA		GPU	CPU
	Ultrascale+	Virtex 7		
Device time (ms)	27.80	34.6	28.16	47.68
Device power (W)	4.55	2.760	26	10
Energy (mJ)	126.49	95.496	732.16	476.8

- **Waktu Perangkat (*Device time in ms*):** FPGA Ultrascale+ memiliki waktu pemrosesan tercepat dengan 27.80 ms, diikuti oleh Virtex 7 dengan 34.6 ms. GPU memiliki waktu pemrosesan yang lebih lambat dibandingkan FPGA Ultrascale+ tetapi lebih cepat dibandingkan dengan CPU, yang memiliki waktu pemrosesan terlama pada 47.68 ms.
- **Daya Perangkat (*Device power in W*):** FPGA Ultrascale+ menunjukkan konsumsi daya terendah pada 4.55 W, sementara Virtex 7 sedikit lebih tinggi pada 2.760 W. GPU memiliki konsumsi daya yang sangat tinggi pada 26 W, dan CPU pada 10 W, keduanya secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan FPGA.
- **Energi (*Energy in mJ*):** FPGA Ultrascale+ juga paling efisien dalam penggunaan energi dengan 126.49 mJ, disusul oleh Virtex 7 dengan 95.496 mJ. GPU menggunakan energi yang jauh lebih banyak pada 732.16 mJ, sedangkan CPU menggunakan 476.8 mJ.

Berdasarkan data tersebut, kita dapat menyimpulkan: untuk *background subtraction*, FPGA tidak hanya memproses tugas dengan lebih cepat tetapi juga dengan konsumsi daya yang jauh lebih rendah daripada GPU dan CPU. Penggunaan energi yang jauh lebih efisien mendukung FPGA sebagai pilihan yang lebih baik untuk aplikasi yang memerlukan efisiensi tinggi baik dalam waktu pemrosesan maupun konsumsi energi. Dalam konteks ini, FPGA dapat secara signifikan mengurangi biaya operasional dan jejak karbon untuk aplikasi yang memerlukan pemrosesan gambar secara intensif, seperti sistem *video surveillance*, analitik visual otomatis, dan aplikasi *smart city* lainnya.

Tabel 2 membandingkan kinerja dan efisiensi energi antara implementasi berbasis FPGA (dengan chip Ultrascale+ dan Virtex 7), GPU, dan CPU untuk algoritma Lucas-Kanade, yang merupakan metode untuk pelacakan objek dalam video [40].

**Tabel 2. Power Consumption per frame for Lucas-Kanade algorithm**

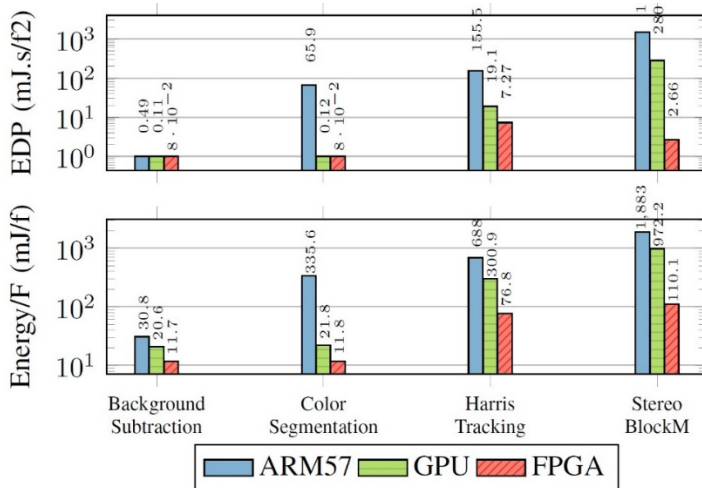
Parameters	FPGA		GPU	CPU
	Ultrascale+	Virtex 7		
Device time (ms)	37.31	36.34	42.68	5925.78
Device power (W)	8.0	8.385	75	10
Energy (mJ)	298.48	304.7	3201	59,257.8

- **Waktu Perangkat (*Device time in ms*):** FPGA Ultrascale+ dan Virtex 7 menunjukkan waktu pemrosesan yang hampir serupa, 37.31 ms dan 36.34 ms, keduanya secara signifikan lebih cepat dibandingkan dengan CPU yang memiliki waktu pemrosesan sangat lama yaitu 5925.78 ms. GPU menunjukkan waktu pemrosesan yang lebih baik dibandingkan dengan CPU tetapi tetap lebih lambat dibandingkan dengan kedua FPGA.
- **Daya Perangkat (*Device power in W*):** Dalam hal konsumsi daya, FPGA Ultrascale+ dan Virtex 7 memiliki kemiripan, masing-masing dengan 8.0 W dan 8.385 W, jauh lebih rendah dibandingkan dengan GPU pada 75 W dan CPU pada 10 W. Ini mengindikasikan bahwa FPGA jauh lebih efisien dalam konsumsi daya dibandingkan dengan GPU.
- **Energi (*Energy in mJ*):** Kedua FPGA menunjukkan efisiensi energi yang jauh lebih tinggi, dengan penggunaan energi 298.48 mJ untuk Ultrascale+ dan 304.7 mJ untuk Virtex 7. Sementara itu, GPU menggunakan energi sebanyak 3201 mJ, dan CPU sangat boros energi dengan 59,257.8 mJ.

Data ini menegaskan bahwa FPGA tidak hanya memberikan kinerja yang lebih baik dalam hal waktu pemrosesan tetapi juga sangat mengungguli CPU dan GPU dalam hal efisiensi energi. Dalam konteks

pemrosesan algoritma Lucas-Kanade, yang membutuhkan kecepatan dan efisiensi tinggi, FPGA menunjukkan kelebihan yang signifikan. Pemilihan FPGA atas CPU dan GPU untuk aplikasi seperti pelacakan objek dalam video dapat menghasilkan pengurangan dramatis pada konsumsi energi dan peningkatan kecepatan pemrosesan. Ini sangat berguna dalam aplikasi *real-time* dan aplikasi yang membutuhkan keandalan tinggi serta konsumsi energi yang rendah.

Data kuantitatif dalam Gambar 7 memperlihatkan perbedaan yang signifikan dalam konsumsi energi. Untuk tugas seperti *background subtraction*, *color segmentation*, dan *stereo block matching*, FPGA menunjukkan efisiensi yang jauh lebih baik dibandingkan dengan CPU dan GPU, ditandai oleh besarnya pengurangan konsumsi energi [38].



**Gambar 7. FPGA mengungguli GPU and CPU dalam hal konsumsi energy/frame dan EDP**

Gambar 7 menampilkan perbandingan konsumsi energi per frame (Energy/Frame) dan *energy-delay product* (EDP) untuk berbagai algoritma pemrosesan citra pada tiga jenis perangkat keras: CPU ARM57, GPU, dan FPGA. EDP adalah metrik yang menggabungkan energi dan waktu (*delay*)



yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu tugas, memberikan gambaran tentang efisiensi energi dan performa secara bersamaan. Nilai EDP yang lebih rendah menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi [38].

***Background Subtraction:***

- **Energy/Frame:** FPGA membutuhkan energi yang signifikan lebih rendah per frame dibandingkan dengan CPU dan GPU, menunjukkan efisiensi energi yang superior.
- **EDP:** EDP FPGA juga jauh lebih rendah, yang menunjukkan bahwa FPGA tidak hanya menghemat energi tetapi juga mengurangi waktu pemrosesan.

***Color Segmentation:***

- **Energy/Frame:** Sama seperti pada *background subtraction*, FPGA lebih efisien secara energi daripada CPU dan GPU.
- **EDP:** FPGA memiliki EDP yang paling rendah, sekali lagi menunjukkan bahwa dalam hal kombinasi kecepatan dan konsumsi energi, FPGA unggul.

***Harris Tracking:***

- **Energy/Frame:** FPGA terus mempertahankan keunggulannya dalam efisiensi energi dibandingkan dengan perangkat keras lainnya.
- **EDP:** FPGA memiliki nilai EDP yang lebih rendah, yang menandakan keunggulan dalam memproses algoritma ini secara efisien.

***Stereo Block Matching (Stereo BlockM):***

- **Energy/Frame:** untuk operasi yang kompleks ini, FPGA menunjukkan konsumsi energi yang lebih rendah per frame.
- **EDP:** EDP FPGA menunjukkan efisiensi yang sangat tinggi, menandakan bahwa untuk aplikasi pemrosesan citra 3D yang membutuhkan komputasi intensif, FPGA adalah pilihan yang paling efisien.

Temuan dari pengujian menunjukkan bahwa FPGA berhasil mengurangi konsumsi energi untuk setiap frame dan secara keseluruhan memberikan kinerja yang lebih efisien dari segi kombinasi waktu dan energi dibandingkan dengan CPU dan GPU dalam berbagai proses pengolahan citra. Ini penting untuk aplikasi yang memerlukan pemrosesan citra *real-time* dan efisiensi energi, seperti dalam sistem pengawasan keamanan, robotika, dan aplikasi otomotif. Keunggulan FPGA dalam pengolahan citra mendukung penggunaannya yang semakin meluas pada aplikasi *smart city*, di mana penurunan pemakaian energi berkontribusi penting dalam mencapai keberlanjutan serta mengurangi biaya operasional.

## **8. *Reconfigurable Computing* untuk Komputasi Berkelanjutan**

*Reconfigurable Computing* (RC) muncul sebagai jawaban atas tantangan yang dihadapi oleh dunia yang semakin digital dalam mencapai keberlanjutan, khususnya dalam mengurangi konsumsi energi. Dengan industri teknologi informasi yang bertanggung jawab atas sekitar 7% dari total konsumsi listrik global [41], inovasi yang memungkinkan penggunaan energi yang lebih efisien menjadi sangat penting.

Perkembangan *Reconfigurable Computing* (RC) dan dampaknya terhadap keberlanjutan dalam teknologi informasi menandai babak baru dalam upaya kita menuju masa depan yang “lebih hijau”. Prediksi pertumbuhan pasar global untuk RC hingga sekitar 9% per tahun menjelang tahun 2030 [42] menegaskan pentingnya teknologi ini dalam mendukung Sustainable Development Goals (SDGs), terutama Tujuan 7 yang berkaitan dengan akses terhadap energi yang terjangkau dan bersih [43]. Penggunaan FPGA, sebagai salah satu bentuk RC, menjanjikan potensi penghematan energi yang signifikan dan peningkatan performa yang konsisten, yang sangat dibutuhkan di era Big Data dan kecerdasan artifisial [44].

Dalam hal efisiensi energi dan performa, FPGA terbukti unggul dibandingkan dengan CPU dan GPU. Sinergi antara perangkat keras dan perangkat lunak pada sistem RC menghasilkan optimasi yang luar biasa, di mana algoritma dapat berjalan hingga sepuluh kali lebih cepat daripada di CPU atau GPU [45][46][47]. Penggunaan FPGA dalam aplikasi seperti analisis data real-time dan machine learning menunjukkan penurunan latensi hingga 30% dan peningkatan kecepatan *query* hingga 20 kali lipat, yang membuktikan efisiensi energi yang lebih baik [48][49].

Integrasi antara GPU dan RC membuka peluang baru untuk aplikasi yang lebih efisien dalam berbagai sektor. Hasil penelitian terkini menunjukkan peningkatan efisiensi energi hingga 25% dan kecepatan pemrosesan data hingga 20%, yang menandai langkah signifikan dalam pengembangan solusi berkelanjutan [50][51]. Keberhasilan ini menciptakan jalan bagi implementasi RC yang lebih luas, terutama dalam konteks pengurangan konsumsi energi di sektor publik dan swasta.

Keberlanjutan dalam komputasi, yang memerhatikan efisiensi energi, kecepatan, dan fleksibilitas, akan menjadi fondasi bagi masa depan komputasi yang bertanggung jawab bagi lingkungan. Teknologi ini tidak hanya menciptakan solusi yang lebih cepat dan efisien, tetapi juga berkontribusi pada inisiatif keberlanjutan global. Dengan mengintegrasikan RC ke dalam sistem komputasi, kita dapat mencapai keseimbangan antara kebutuhan teknologi dan pelestarian alam. Ini merupakan era baru dalam teknologi informasi, di mana efisiensi energi dan performa tinggi menjadi kunci penting bagi pertumbuhan yang berkelanjutan dan bertanggung jawab.

## **9. Penutup**

*Reconfigurable computing* (RC) di Indonesia membawa peluang unik untuk mengembangkan solusi teknologi yang sesuai dengan kebutuhan dan tantangan lokal. Dalam konteks sosial, ekonomi, dan geografisnya yang unik, Indonesia menghadapi tantangan spesifik yang dapat diatasi

melalui penerapan solusi berbasis *reconfigurable computing*. Dengan pendekatan yang terfokus pada permasalahan lokal, kita dapat memastikan bahwa inovasi teknologi yang dikembangkan tidak hanya relevan tetapi juga efektif dalam skala nasional.

Penerapan RC yang efisien secara energi, bersinergi dengan strategi solusi lokal, memungkinkan Indonesia untuk memajukan kapasitas komputasinya sambil meminimalkan dampak lingkungan. Inisiatif ini sejalan dengan prinsip-prinsip *green computing* dan menjadi langkah penting menuju keberlanjutan masa depan. Solusi yang dirancang khusus untuk menangani masalah khas Indonesia akan memanfaatkan teknologi yang ramah lingkungan, mendukung gerakan *green computing* secara global.

Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan dan penerapan RC. Kolaborasi antar universitas, industri, dan pemerintah dapat memperkuat ekosistem yang mendukung adopsi RC, yang pada gilirannya akan mendorong efisiensi energi dan membantu mencapai tujuan keberlanjutan [43], terutama dengan inovasi yang berakar pada kebutuhan lokal. Fakta bahwa RC menawarkan keunggulan sebagai platform komputasi yang unggul harus dimanfaatkan untuk memastikan bahwa teknologi kita berkembang secara bertanggung jawab terhadap lingkungan.

Masa depan teknologi di Indonesia tidak hanya berfokus pada kemajuan, tetapi juga pada kepemimpinan dalam upaya global menciptakan masa depan yang lebih hijau dan berkelanjutan. Melalui semangat inovasi dan komitmen terhadap keberlanjutan, Indonesia dapat mengintegrasikan kebutuhan lokal ke dalam solusi global, menciptakan teknologi yang tidak hanya canggih tetapi juga bertanggung jawab terhadap lingkungan dan masyarakat. Dengan potensi besar yang dimiliki oleh sumber daya manusia dan keterjangkauan teknologi, Indonesia dapat memanfaatkannya dalam pengembangan *green computing* di garis terdepan untuk berkontribusi signifikan dalam ekosistem teknologi global.

## **Daftar Pustaka**

- [1] Arvid Murali, "Understanding Generation Data", Forbes Technology Council, Aug 2, 2021 (<https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2021/08/02/understanding-generation-data/?sh=15423cf936b7>)
- [2] Keyleigh Shooter, "McKinsey: Unlocking Success in Digital Transformations", McKinsey & Company, May 18, 2020 (<https://technologymagazine.com/data-and-data-analytics/mckinsey-unlocking-success-digital-transformations>).
- [3] Bestsenny O., Gilbert G., Harris A., Rost J., "Telehealth: A Quarter Trillion-dollar Post-COVID-19 Reality?", McKinsey & Company, July 9, 2021. (<https://www.mckinsey.com/industries/healthcare/our-insights/telehealth-a-quarter-trillion-dollar-post-covid-19-reality>)
- [4] UNCTAD, "The Digital Economy Report", World Economic Forum, 2021 ([https://unctad.org/system/files/official-document/der2021\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/der2021_en.pdf))
- [5] Rahmi Yati, "Survei APJII: Pengguna Internet di Indonesia Tembus 215 Juta Orang", Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII), 2023. (<https://teknologi.bisnis.com/read/20230308/101/1635219/survei-apjii-pengguna-internet-di-indonesia-tembus-215-juta-orang>)
- [6] "Measuring digital development: Facts and figures 2021", International Telecommunication Union, 2021.
- [7] "Laporan Perekonomian Indonesia 2020", Bank Indonesia, 2020. ([https://www.bi.go.id/id/publikasi/laporan/Pages/LPI\\_2020.aspx](https://www.bi.go.id/id/publikasi/laporan/Pages/LPI_2020.aspx))
- [8] "Size of the global e-learning market in 2021 and 2026, by segment", Statista Research Development, 2022 (<https://www.statista.com/statistics/1130331/e-learning-market-size-segment-worldwide/>)

- [9] George Boole, "The Mathematical Analysis of Logic: Being an Essay Towards a Calculus of Deductive Reasoning", Cambridge, 1847. Released by Project Gutenberg, Jul 28, 2011.
- [10] Claude Shannon, "A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits", Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 1938.
- [11] "The Birth of the Transistor: A Turning Point in History", Nobel Prize Official Website, 1956 (<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1956/summary/>)
- [12] Nancy B. Stern, "From ENIAC to UNIVAC: Appraisal Eckert Mauchly Computers", Digital Press, 1981
- [13] Freiberger, P., Swaine, M., "Fire in the Valley: The Making of the Personal Computer, McGraw-Hill; 2nd edition, 2000.
- [14] "Internet Usage Statistics: The Internet Big Picture", Internet World Stats (<https://www.internetworldstats.com/stats.htm> visited Nov 15, 2023)
- [15] Number of Smartphones Mobile Network Subscriptions Worldwide from 2016 to 2022, with forecasts from 2023 to 2028 (in millions), Statista (<https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/>)
- [16] Moore, G. E. (1988). Cramming More Components onto Integrated Circuits. Proceedings of the IEEE Vol. 86 No.1, Jan 1988.
- [17] Dubois, M., & Filiol, E. (2016). Hacking of the AES with Boolean Functions. International Conference on Information Systems Security and Privacy.
- [18] Falcon Heavy, SpaceX (<https://www.spacex.com/vehicles/falcon-heavy/>)
- [19] IoT Market by Component, Organization Size, Focus Area and Region – Global Forecasts to 2026, Markets and Markets

- (<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/internet-of-things-market-573.html>)
- [20] "SIA White Paper: Semiconductor Industry Has Grown U.S. Economy through Innovation", Semiconductor Industry Association, 2014. (<https://www.semiconductors.org/sia-white-paper-semiconductor-industry-has-grown-u-s-economy-through-innovation/>)
- [21] CPU dan GPU Market Analysis Research Report, LinkedIn (<https://www.linkedin.com/pulse/cpu-gpu-market-analysis-research-report>) Oct 10, 2023
- [22] Pisano, Gary P., David J. Collis, and Peter K. Botticelli. "Intel Corporation: 1968-1997." Harvard Business School Case 797-137, May 1997.
- [23] Intel® Core™ i9 Processors, <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/details/processors/core/i9.html>
- [24] James McKenzie, "Moore's law: further progress will push hard on the boundaries of physics and economics", physicsworld IOP Publishing, June 20, 2023.
- [25] Ian Foster and Carl Kesselman. 2003. The Grid 2: Blueprint for a New Computing Infrastructure. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA.
- [26] Andrae, A. S. G. and Edler, T., (2015), On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030, Challenges, 6 (1) p. 1-41.
- [27] Putnam A, Caulfield AM, Chung ES, Chiou D, Constantinides K, Demme J et al. A Reconfigurable Fabric for Accelerating Large-scale Datacenter Services. In Proceeding of the 41st Annual International Symposium on Computer Architecture. Piscataway, NJ, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). 2014. p. 13-24. (ISCA '14).

- [28] How Much Energy Do Data Centers Really Use?, Energy Innovation: Policy & Technologi LLC. 2020.
- [29] Bill Kosik, "Energy and Sustainability in Data Centers", Book Chapter 3 of Data Center Handbook: Plan, Design, Build, and Operations of a Smart Data Center, John Wiley & Sons, 2021.
- [30] "IDC: Expect 175 zettabytes of data worldwide by 2025", IDC, 2018 (<https://www.networkworld.com/article/3325397/idc-expect-175-zettabytes-of-data-worldwide-by-2025.html>)
- [31] United Nations Report: "The Exponential Climate Action Roadmap", 2018 (<https://www.climate-chance.org/en/library/exponential-climate-action-roadmap/>)
- [32] Agarwal, Navin. "Green Cloud Computing: Carbon Emission Impact And Energy Efficiency." International Journal of Scientific & Technology Research 8 (2019): 65-67.
- [33] CPLD – Complex Programmable Logic Device (<https://electronicsforu.in/cpld/>)
- [34] T. Qin, S. J. Bleiker, S. Rana, F. Niklaus and D. Pamunuwa, "Performance Analysis of Nanoelectromechanical Relay-Based Field-Programmable Gate Arrays," in IEEE Access, vol. 6, pp. 15997-16009, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2816781.
- [35] Weitong Chen, Lei Li, Peng Lu and Jinmei Lai, "Design of FPGA's high-speed and low-power programmable interconnect," 2016 13th IEEE International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT), Hangzhou, 2016, pp. 707-709.
- [36] Bin Yu et al., "FinFET scaling to 10 nm gate length," Digest. International Electron Devices Meeting,, San Francisco, CA, USA, 2002, pp. 251-254, doi: 10.1109/IEDM.2002.1175825.
- [37] CPLD vs FPGA: Which Do You Need For Your Digital System?, Cadence PCB Solutions, <https://resources.pcb.cadence.com/>



blog/2019-cpld-vs-fpga-which-do-you-need-for-your-digital-system, visited Nov 13, 2023.

- [38] "Paper B" M. Qasaimeh, K. Denolf, J. Lo, K. Vissers, J. Zambreno and P. H. Jones, "Comparing Energy Efficiency of CPU, GPU and FPGA Implementations for Vision Kernels," 2019 IEEE International Conference on Embedded Software and Systems (ICCESS), Las Vegas, NV, USA, 2019, pp. 1-8.
- [39] "Paper B" Tang, Y., Dai, R., Xie, Y., Optimization of Energy Efficiency for FPGA-Based Convolutional Neural Networks Accelerator (2020) Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing.
- [40] Arif, Arslan et al. "Performance and energy-efficient implementation of a smart city application on FPGAs." Journal of Real-Time Image Processing 17 (2018): 729-743.
- [41] Chickerur, Satyadhyan & Hiriyanaiyah, Srinidhi & Rayudu, Dadi & Kumar M., Aswatha. (2012). Reconfigurable Computing: A Review. Recent Patents on Computer Science. 5. 226-237.
- [42] Hardware Reconfigurable Devices Market – Forecast (2023-2028), IndustryARC, <https://www.industryarc.com/Report/217/global-reconfigurable-hardware-devices-market.html>
- [43] Battaïa, Olga & Benyoucef, Lyes & Delorme, Xavier & Dolgui, Alexandre & Thevenin, Simon. (2020). Sustainable and Energy Efficient Reconfigurable Manufacturing Systems.
- [44] J. Fowers et al., "Inside Project Brainwave's Cloud-Scale, Real-Time AI Processor," in IEEE Micro, vol. 39, no. 3, pp. 20-28, 1 May-June 2019.
- [45] Mursanto, P. (2007) Optimalisasi Aplikasi Berbasis Elemen Galois Field Dengan Menggunakan Varian Operator Aritmetika Terseleksi (Doctoral dissertation) Universitas Indonesia.

- [46] Mursanto, P. (2014). Synthesis Optimization on Galois-Field Based Arithmetic Operators for Rijndael Cipher. *Journal of ICT Research and Applications*, 5(2), 89-104.
- [47] Reuben, J. Rediscovering Majority Logic in the Post-CMOS Era: A Perspective from In-Memory Computing. *J. Low Power Electron. Appl.* 2020, 10, 28.
- [48] Hoozemans, Joost & Peltenburg, Johan & Nonnemacher, Fabian & Hadnag, Akos & Al-Ars, Zaid & Hofstee, H.P.. (2022). FPGA Acceleration for Big Data Analytics: Challenges and Opportunities. *IEEE Circuits and Systems Magazine*. 21. 30-47.
- [49] A. B-Kreuzhuber, A. Konev, Z. Horváth, D. Cornel, I. Schwerdorf, G. Blöschl, J. Waser, An integrated GPU-accelerated modeling framework for high-resolution simulations of rural and urban flash floods, *Environmental Modelling & Software*, Volume 156, 2022, 105480, ISSN 1364-8152.
- [50] Sadaf R. Alam, Pratul K. Agarwal, Melissa C. Smith, Jeffrey S. Vetter, and David Caliga. 2007. Using FPGA Devices to Accelerate Biomolecular Simulations. *Computer* 40, 3 (March 2007), 66–73.
- [51] Gan, Lin & Yuan, Ming & Yang, Jinzhe & Zhao, Wenlai & Luk, Wayne & Yang, Guangwen. (2020). High performance reconfigurable computing for numerical simulation and deep learning. *CCF Transactions on High Performance Computing* 2, pp.196-208.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ungkapan syukur yang mendalam saya haturkan kepada Tuhan Yang Maha Pengasih yang telah menganugerahi kesehatan, kekuatan, dan kesempatan sehingga pada hari ini saya dapat berdiri di sini. Karena perkenannya semata saya memperoleh pengalaman berharga dalam perjalanan mengenyam pendidikan sampai tingkat tertinggi dan mencapai posisi Guru Besar. Oleh karenanya dalam kesempatan ini, kepada semua pihak yang telah berkontribusi bagi pencapaian ini, izinkan saya menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua saya mendiang Bapak **Yohanes Ridwan** dan mendiang Ibu **Angeline Sri Murni** yang telah berpulang ke Rumah Bapa di Surga, yang dengan cinta dan kesabaran telah membesarkan saya, mengupayakan kehidupan dan pendidikan berkualitas untuk saya dan kakak-adik, mengajarkan keutamaan terbaik serta memberikan keteladanan dalam hidup.
2. Istriku tercinta **Crescentia Paneter Dyah Prawitasari** yang senantiasa menjadi sumber inspirasi dan dukungan, mendampingi dengan setia sebagai partner dan sahabat dalam suka dan duka, serta memacu saya untuk selalu berupaya yang terbaik. Terima kasih untuk semua pengorbanan yang tidak terhitung, untuk malam-malam menemani saya bekerja maupun hari-hari sendirian ketika saya sering tidak berada di rumah karena studi dan tugas, untuk kesabaran dan pengertian yang luar biasa dalam menghadapi dinamika kehidupan akademis yang tak selalu mulus. Terima kasih untuk setiap dorongan, setiap kata motivasi, dan setiap doa yang dipanjatkan untuk kesuksesan saya. Terima kasih dan penghormatan saya kepada mendiang Bapak Mertua **Stephanus Prasetyo Djokodwidjono** dan Ibu Mertua **Maria Philomena Sukarsih** yang telah mempercayakan putrinya menjadi pendamping hidup saya, serta selalu mendukung dengan sepenuh hati dan mendoakan kesuksesan dalam setiap tugas, karya, dan pelayanan yang saya emban.

3. Anakku **Ignatius Raditya Sandyapratama** yang selalu mau mengerti, mau belajar dan sabar selama perjalanan ini, terutama ketika kesibukan menjadikan saya tidak selalu ada untukmu, sehingga membuatmu selalu berusaha mandiri, tidak mau bergantung pada orang tua, dan terus berusaha membuat bangga orang tua.
4. Pemerintah Republik Indonesia, melalui Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia, **Nadiem Anwar Makarim, B.A., M.B.A.**, yang telah menetapkan saya sebagai Guru Besar Tetap di Fakultas Ilmu Komputer Universitas Indonesia.
5. Rektor Universitas Indonesia **Prof. Ari Kuncoro, S.E., M.A., Ph.D.** dan Ketua Dewan Guru Besar Universitas Indonesia **Prof. Harkristuti Harkrisnowo, S.H., M.A., Ph.D.** yang telah mengukuhkan saya sebagai Guru Besar pada hari ini. Terima kasih juga kepada Sekretaris **Prof. Dr. drg. Indang Trihandini, M.Kes.** serta seluruh anggota Dewan Guru Besar Universitas Indonesia, yang telah mendukung pengukuhan saya dan menerima saya dalam lingkungan akademik yang terhormat ini.
6. Ketua dan Sekretaris Senat Akademik Universitas Indonesia **Prof. Nachrowi Djalal Nachrowi, M.Sc., M.Phil., App.Sc., Ph.D.** dan **Prof. Yudho Giri Sucahyo, S. Kom., M.Kom., Ph.D.** serta seluruh anggota Senat Akademik Universitas Indonesia yang telah menyetujui dan merekomendasikan saya sebagai Guru Besar Tetap di Fasilkom UI.
7. Ketua Tim Penilai Angka Kredit (PAK) Universitas Indonesia, **Prof. Dr. Heru Suhartanto** dan seluruh anggota Tim PAK Universitas Indonesia yang telah memproses dan menyetujui pengusulan saya sebagai Guru Besar Tetap di Fasilkom UI.
8. Para Wakil Rektor: **Prof. Dr.rer.nat. Abdul Haris, Ibu Vita Silvira, S.E., MBA., drg. Nurtami, Ph.D., Sp.OK(F), Prof. Dr. Dedi Priadi, DEA,** Sekretaris Universitas **dr. Agustin Kusumayati, M.Sc., Ph.D.**, para Direktur di lingkungan PAU UI atas kerjasama dan koordinasi yang baik dalam rangka pemenuhan tugas dan capaian yang menjadi kinerja saya selama ini.

9. Direktur Sumber Daya Manusia Universitas Indonesia **Prof. Dr.Ing. Amalia Suzianti, S.T., M.Sc.** dan seluruh Kasubdit, Kepala Seksi, serta Staf di Direktorat Sumber Daya Manusia UI yaitu Bapak **Agus Anang, M.T.I.** dan tim SDM Fasilkom UI Ibu **Hennie Marianie, S.E., M.S.M.** dan Ibu **Juwita Ardiana Dwitya, S.Psi.** atas kesabaran dan ketekunan dalam membantu dan mengawal pengusulan Guru Besar saya di Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi hingga saya bisa berdiri di mimbar terhormat ini.
10. Para pembimbing disertasi: **Prof. Dr. Belawati Widjaja**, dan **Bobby A.A. Nazief, Ph.D.**, serta **Prof. Dr.Eng. Benyamin Kusumoputro**; pembimbing tesis: **Prof. Dr. Clark Thomborson**, dan pembimbing skripsi: **Joseph F.P. Luhukay, Ph.D.** yang telah membimbing saya dengan sabar dan bijaksana. Ucapan khusus untuk *the late* **Prof. Steffen Hölldobler** yang memfasilitasi saya melalui program *ASEA Link* untuk menimba ilmu di Institute of Computer Engineering, Technische Universität Dresden di bawah supervisi **Prof. Dr.-Ing. habil. Rainer G. Spallek** dan **Dr.-Ing. Jörg Schneider**. Terima kasih telah menjadi mentor yang ramah, murah berbagi ilmu dan tutor yang luar biasa sabar.
11. Dewan Guru Besar Fasilkom UI: **Prof. Dr. Ir. Eko Kuswardono Budiardjo, M.Sc.**, **Prof. Ir. Dana Indra Sensuse, M.LIS., Ph.D.**, **Prof. Dr. Ir. Aniasi Murni Arymurthy, M.Sc.**, **Prof. Dra. Belawati H. Widjaja, M.Sc., Ph.D.**, **Prof. Drs. T. Basaruddin, M.Sc., Ph.D.**, **Prof. Drs. Heru Suhartanto, M.Sc., Ph.D.**, **Prof. Dr.Eng. Wisnu Jatmiko, S.T., M.Kom.**, **Prof. Yudho Giri Sucahyo, S.Kom., M.Kom.**, **Prof. Dr. Achmad Nizar Hidayanto, S.Kom., M.Kom.**, **Prof. Dr. Dra. Kasiyah, M.Sc.** yang telah menyetujui, mendukung dan memproses pengusulan Guru Besar saya. Apresiasi juga kepada sesama Guru Besar yang baru ditetapkan: **Prof. Harry Budi Santoso, S.Kom., M.Kom., Ph.D.**, **Prof. Dr. Putu Wuri Handayani, S.Kom., M.Sc.**, **Prof. Dr. Indra Budi, S.Kom., M.Kom.**
12. Para *reviewer* yang telah menelaah dan memberikan penilaian dan atas makalah-makalah saya dalam pengusulan jabatan Guru Besar:

- Prof. Dr. Achmad Nizar Hidayanto, Prof. Yudho Giri Sucahyo, Ph.D., dan Prof. Dr. Agus Buono.**
13. Para pimpinan Fasilkom UI yang telah mengizinkan dan membimbing saya dalam berkarya di UI: **Bagyo Y. Moeliodiharjo, M.Sc., Prof. Dr. Toemin A. Masoem, M.Sc., Prof. Drs. T. Basaruddin, M.Sc., Ph.D., Almh. Mirna Adriani, Ph.D.**
  14. Seluruh jajaran manajemen yang telah mendukung, bahu membahu dalam kerjasama mengelola fakultas: **Ari Saptawijaya, S.Kom., M.Sc., Ph.D., Prof. Dr. Achmad Nizar Hidayanto, S.Kom., M.Kom., Alfian Farizki Wicaksono, S.T., M.Sc., Ph.D., Prof. Dr. Putu Wuri Handayani, S.Kom., M.Sc., Betty Purwandari, S.Kom., M.Sc., Ph.D., Prof. Harry Budi Santoso, S.Kom., M.Kom. Ph.D., Dr. Dina Cahyati, S.Kom., M.Kom., Adila Alfa Krisnadhi, S.Kom., M.Sc., Ph.D., Dr.Eng. Laksmi Rahadiani, S.Kom., M.Sc., Muhammad Hafizhuddin Hilman, S.Kom., M.Kom., Ph.D, Dr. Panca Hadi Putra, B.Sc. (Hons), S.H., M.Bus., Dr. Rizal Fathoni Aji, S.Kom., M.Kom., Hennie Marianie, S.E., M.S.M., Edina Ayuningtyas, S.E., M.A., Hafied Nur Siddiqui, S.E., M.T.I., Prof. Dr. Eng. Wisnu Jatmiko, S.T., M.Kom., Siti Aminah, S.Kom., M.Kom., Amril Syalim, S.Kom., M.Eng., Ph.D., Dipta Tanaya, S.Kom., M.Kom, Puspa Indahati Sandhyaduhita, S.T., M.Sc., Dr. Ade Azurat, S.Kom., Ari Wibisono, S.Kom., M.Kom., Ika Purnamasari, S.Kep., Hisar Maruli Manurung, Ph.D.**
  15. Pimpinan PUSILKOM UI Bapak **Denny, Ph.D.** dan Bapak **Ardhi Tomiarfi, S.Kom., M.Kom.** serta para kolega PUSILKOM UI, tempat saya pertama kali menapak karir dunia professional masa menyelesaikan skripsi, khususnya Bapak **Ir. Irwan Margono**, Alm. Bapak **Abdul Muthalib, S.E., M.Sc., Bapak Ir. Budi Yuwono, M.Sc., Ph.D.,** Bapak **Ir. Johnny Moningka, M.Sc.** serta rekan-rekan *Enterprise Computing Lab* (ECL). Terima kasih juga kepada seluruh rekan kerja mitra PUSILKOM UI dari PT Jasamarga, PT Citra Marga Nusaphala Persada Tbk., PT Alas Buana Raya, PT Delameta Bilano, PT Module Intracts Yasatama.

16. Seluruh rekan kolega dosen yang telah menjadi mitra dalam kegiatan Tridarma: Prof. Achmad Nizar Hidayanto, Prof. Aniati Murni Arymurthy, Prof. Belawati H. Widjaja, Prof. Dana Indra Sensuse, Prof. Eko Kuswardono Budiardjo, Prof. Harry Budi Santoso, Prof. Heru Suhartanto, Prof. Indra Budi, Prof. Kasiyah, Prof. Putu Wuri Handayani, Prof. T. Basaruddin, Prof. Toemin A. Masoem, Prof. Wisnu Jatmiko, Prof. Yudho Giri Sucahyo, Prof. Zainal Arifin Hasibuan, Bapak Adhi Yuniarto, Bapak Adila Alfa Krisnadhi, Bapak Alfian Farizki Wicaksono, Bapak Amril Syalim, Bapak Ari Saptawijaya, Bapak Ari Wibisono, Ibu Ave Adriana Pinem, Bapak Bayu Distiawan Trisedya, Ibu Betty Purwandari, Bapak Bobby A.A. Nazief, Bapak Bob Hardian Syahbuddin, Bapak Dadan Hardianto, Bapak Denny, Ibu Dinial Utami Nurul Qomariah, Ibu Dina Chahyati, Ibu Erdefi Rakun, Ibu Evi Yulianti, Ibu Fatimah Azzahro, Bapak Fariz Darari, Bapak Gladhi Guarddin, Ibu Iis Afriyanti, Ibu Ika Alfina, Ibu Imairi Eitiveni, Ibu Kurniawati Azizah, Ibu Laksmi Rahadiani, Bapak Lim Yohanes Stefanus, Bapak Made Harta Dwijaksana, Ibu Meganingrum Arista Jiwangi, Bapak Muhammad Anwar Ma'sum, Ibu Maya Retno Ayu Setyautami, Bapak Muhammad Hafizhuddin Hilman, Bapak Muhammad Rifki Shihab, Bapak Panca Hadi Putra, Bapak Rahmad Mahendra, Bapak Rahmat Mustafa Samik-Ibrahim, Bapak Rizal Fathoni Aji, Bapak Satrio Baskoro Yudhoatmojo, Bapak Setiadi Yazid, Ibu Siti Aminah, Bapak Suryana Setiawan, Bapak Wahyu Catur Wibowo, Ibu Widia Resti Fitriani, Bapak Widijanto Satyo Nugroho, Bapak Yugo Kartono Isal, Ibu Yova Ruldeviyani, Alm. Bapak Iik Wilarso, Alm. Bapak Mohamad Ivan Fanany, Alm. Bapak Muhammad Rahmat Widyanto, Bapak Adi Prasetyo, Ibu Annisa Monicha Sari, Ibu Arlisa Yulawati, Ibu Aruni Yasmin Azizah, Ibu Arawinda Dinakaramani, Bapak Benny Ranti, Bapak Daya Adianto, Ibu Fathia Prinastiti Sunarso, Bapak Grafika Jati, Bapak Ichlasul Affan, Ibu Iis Solichah, Ibu Ika Chandra Hapsari, Bapak Kodrat Mahatma, Bapak Muhammad Kasfu Hammi, Bapak Muhammad Mishbah, Ibu Lia Sadita, Ibu Mei Silviana Saputri, Ibu Nabila Clydea Harahap, Ibu Pudy

- Prima, Bapak Raja Oktovin Parhasian Damanik, Bapak Riri Satria, Bapak Sofian Lusa, Bapak Teguh Raharjo, Ibu Yekti Wirani.
17. Seluruh staf sekretariat akademik Fasilkom UI: Ibu Dewi, Ibu Rita, Bapak Dede, Ibu Fiqoh, Ibu Afifah, Bapak Fajar, Ibu Nurul, staf perpustakaan (Ibu Lily dan Pak Wiryo), tim TI (Bapak Dullah, Bapak Galuh, Bapak Eddarius, Bapak Ganda), tim Humas (Ibu Trisna, Ibu Sendi, Bapak Rama), tim Fasum (Bapak Harry, Bapak Margo, Bapak Nazir, Bapak Nur), tim Sekretariat Dekan (Ibu Inggit dan Ibu Anggitha), dan semua satpam serta janitor yang telah sangat membantu dalam pengelolaan Fasilkom UI.
  18. Seluruh mahasiswa dan alumni bimbingan saya di program Sarjana, Magister maupun Doktoral yang telah membantu merealisasikan ide dan gagasan serta mitra diskusi yang memungkinkan terwujudnya pemikiran dalam bentuk karya dan tulisan ilmiah yang berkontribusi dalam pencapaian karir akademik ini.
  19. Rekan kolega Dekan dan Direktur di Universitas Indonesia: Dekan Fakultas Kedokteran **Prof. Dr. dr. Ari Fahrial Syam, SpPD-KGEH, MMB**, Dekan Fakultas Kedokteran Gigi **Dr. drg. Nia Ayu Ismanati, MDSc., SpOrt(K)**, Dekan Fakultas MIPA **Prof. Dede Djuhana, M.Si., Ph.D.**, Dekan Fakultas Teknik **Prof. Dr. Heri Hermansyah, S.T., M.Eng., IPU**, Dekan Fakultas Hukum **Dr. Parulian Paidi Aritonang, S.H., LL.M., M.PP.**, Dekan Fakultas Ekonomi dan Bisnis **Teguh Dartanto, Ph.D.**, Dekan Fakultas Psikologi **Dr. Bagus Takwin, M.Hum., Psikolog**, Dekan Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya **Dr. Bondan Kanumoyoso, M.Hum.**, Dekan FISIP **Prof. Dr. Semiarto Aji Purwanto, M.Si.**, Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat **Prof. dr. Mondastri Korib Sudaryo, M.S., DSc.**, Dekan Fakultas Farmasi **Prof. Dr. apt. Arry Yanuar, M.Si.**, Dekan Fakultas Ilmu Keperawatan **Agus Setiawan, S.Kp., M.N., D.N.**, Dekan Fakultas Ilmu Administrasi **Prof. Dr. Chandra Wijaya, M.Si., M.M.**, Direktur Sekolah Ilmu Lingkungan **Dr. dr. Tri Edhi Budi Susilo, M.Si.**, Direktur Sekolah Kajian Strategik dan Global **Athor Subroto, S.E., M.M., M.Sc.** dan Direktur Program Pendidikan Vokasi **Padang Wicaksono, S.E., Ph.D.**



20. Semua guru dan dosen saya di semua jenjang pendidikan yang saya lewati yang telah memberikan bekal ilmu dan menanamkan budi pekerti selama saya studi di **SD Tarsisius I, SMP Kanisius St. Yoris, SMA Kolese Loyola, Teknik Elektro FTUI, Department of Computer Science University of Auckland,** dan **Fasilkom UI.**
21. Kakak-kakakku: Mas **Yoko** dan Mbak **Asih,** Mas **Yadi** dan Mbak **Sari,** mendiang Mas **Eko** dan Mbak **Endang,** serta adik-adikku **Arso** dan **Rosa, Wiwid** dan **Tanti, Supri** dan **Bawo** serta semua keponakanku, terima kasih atas kebersamaan untuk saling mendukung dalam semangat dan doa serta berbagi berkat dalam hidup.
22. Seluruh keluarga besar mendiang Pakde **C. Sutrisno** yang telah menyediakan tempat selama saya kuliah di Jakarta serta seluruh keluarga besar Eyang **Reksodimedjo,** yang senantiasa memberikan doa dan dukungan moral yang tak ternilai.
23. Komunitas Pelayan Luar Biasa (Prodiakon) Paroki Kota Wisata, Gereja Maria Bunda Segala Bangsa (MBSB) yang selalu mendukung, berbagi dan bertukar tugas dengan ikhlas serta saling menjaga dalam semangat keimanan yang meneguhkan.
24. Warga Lingkungan St. Maria Immaculata Paroki MBSB atas hangatnya kebersamaan yang menguatkan ikatan persaudaraan dan semangat pelayanan.
25. Warga Cluster Hacienda Heights Kota Wisata atas dukungan, kepercayaan, dan kerjasama luar biasa yang telah diberikan selama kepengurusan RW 45. Pengertian dan kesediaan untuk berbagi tanggung jawab telah mempermudah penanganan tugas bersama dalam komunitas.
26. **Rm. Ismartono, SJ, Rm. Lukas Alamsyah, SJ, Pater Markus S. Wanandi, SJ, Pater Joseph Ageng Marwata, SJ** yang telah menjadi pembimbing saya dalam keimanan dan membangun karakter.
27. Rekan-rekan Paguyuban Dosen Katolik dan ALUMNIKA Universitas Indonesia yang selalu memberikan dukungan doa dan semangat.

28. Teman-teman alumni Elektro '86 FTUI, Loyola '86, Yoris '83 dan Tarsisius '80, serta komunitas Yayasan eRTe dan alumni KUKSA UI yang selalu berbagi suka duka dan menjadi sumber inspirasi.
29. Teman-teman pengukuhan bersama dari Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya: **Prof. Mina Elfira, S.S., M.A., Ph.D.** dan **Prof. Dr. Tuty Nur Mutia, S.S., M.Hum.** serta seluruh Tim Panitia Pengukuhan Guru Besar gabungan dari Fakultas Ilmu Komputer dan Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya Universitas Indonesia.
30. Seluruh undangan dan Guru Besar tamu, keluarga, sahabat, kerabat, kawan dan rekan-rekan yang telah berkenan meluangkan waktunya yang sangat berharga untuk hadir pada hari ini.

Mohon maaf jika ada yang terlewat untuk disebutkan dan seandainya ada kesalahan penulisan nama maupun gelar.

Menjadi Guru Besar bukanlah akhir perjalanan, melainkan sebuah awal baru dalam perjalanan ilmiah yang tak pernah berakhir. Ini adalah komitmen untuk terus belajar, mengajar, dan berinovasi. Sebuah panggilan untuk terus memberikan kontribusi yang berarti bagi kemajuan ilmu pengetahuan, teknologi, dan kemanusiaan.

Marilah kita bersama-sama membangun masa depan yang lebih cerah dengan kekuatan ilmu yang kita miliki agar kampus ini dan negeri ini menjadi lahan subur bagi inovasi dan kemajuan. Dengan semangat kolaborasi, kebersamaan, dan dedikasi, tidak ada mimpi yang terlalu tinggi untuk dicapai.

Saya tutup dengan harapan, semoga kita semua diberkahi kekuatan, kebijaksanaan, dan ketekunan untuk terus mengukir jejak dalam kemajuan ilmu pengetahuan dan kehidupan. Amin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Om Shanti Shanti Shanti Om, Namó Buddhaya.

**RIWAYAT HIDUP**



**PETRUS MURSANTO**

<https://cs.ui.ac.id/personnel/petrus-mursanto/>

Nama Lengkap : Petrus Mursanto  
NIP : 196706252000031002  
NIDN : 0025066705  
Jabatan/TMT : Guru Besar dalam bidang *Digital Systems and Lab* / 1 Agustus 2023  
Pangkat/Gol Ruang : Pembina Tk.1 / IV-b  
Index : h-index – Scopus (14)  
Google Scholar (18)  
Tempat, tgl lahir : Surakarta, 25 Juni 1967  
Nama Istri : Crescentia Paneter Dyah Prawitasari  
Nama Anak : Ignatius Raditya Sandyapratama  
Alamat Rumah : Hacienda Heights SE6 No.1, Kota Wisata, RT 02/ RW 45, Kel. Ciangsana, Kec. Gunungputri, Kab. Bogor 16968

Telepon : 08129918853  
e-Mail : santo@cs.ui.ac.id, pmursanto@gmail.com  
Organisasi Ilmiah : • Institut of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)  
• Association of Computing Machinery (ACM)  
• Persatuan Insinyur Indonesia (PII)  
• Asosiasi Pendidikan Tinggi Informatika dan Komputer (Aptikom)  
• Ikatan Ahli Informatika Indonesia (IAII)  
Scopus ID : 24176993000  
ORCID ID : 000-0002-4831-4629

### **Riwayat Jabatan Fungsional**

1 Maret 2000 : Pengajar  
1 Januari 2007 : Asisten Ahli  
1 Mei 2008 : Lektor  
1 April 2010 : Lektor Kepala  
1 Agustus 2023 : Guru Besar

### **Riwayat Kepangkatan**

1 Maret 2000 : Penata Muda III/a  
1 Oktober 2009 : Penata Muda Tk. 1 III/b  
1 Oktober 2010 : Penata III/c

1 Oktober 2013 : Penata Tk.1 III/d  
1 Oktober 2015 : Pembina IV/a  
1 Oktober 2023 : Pembina Tk.1 IV/b

**Riwayat Jabatan Struktural**

Des 2021 – sekarang : Dekan Fasilkom UI  
Jul 2020 – Des 2021 : Pj. Dekan Fasilkom UI  
Jan 2014 – Jul 2020 : Wakil Dekan Bidang Pendidikan, Penelitian dan Kemahasiswaan

**Riwayat Penugasan Fakultas**

2021 – sekarang : Penasihat Tokopedia-UI AI Center of Excellence  
2009 – 2014 : Penasihat PUSILKOM UI  
2008 – 2014 : Kepala Enterprise Computing Lab  
2000 – 2014 : Unit Penjaminan Mutu Akademik Fakultas  
1992 – sekarang : Dosen Fasilkom UI

**1. Riwayat Pendidikan Formal**

<b>Tahun Lulus</b>	<b>Institusi</b>	<b>Ijazah</b>
2023	Fakultas Teknik UI, Program Profesi	Insinyur
2007	Fakultas Ilmu Komputer UI, Doktor Ilmu Komputer	Doktor
1999	University of Auckland, Department of Computer Science, Auckland - NZ	Master of Science

1992	Fakultas Teknik UI, Jurusan Teknik Elektro	Sarjana Teknik
1986	SMA Kolese Loyola, Semarang	SMA
1983	SMP Kanisius St. Yoris, Semarang	SMP
1980	SD Tarsisius I, Semarang	SD

### Kegiatan Pengabdian

Sejak tahun	Fungsional
2022	Asesor LAM-Infokom
2021	Asesor BKD Dikti
2014	Auditor Akademik Internal BPMA UI
2012	Asesor Serdos Dikti
2010	Asesor BAN-PT
2010	Jury Indonesian Science Project Olympiad (ISPO)

### Riwayat Pelatihan

Tahun	Jenis Pelatihan (Dalam/ Luar Negeri)	Penyelenggara	Waktu
2022	Digital Leadership Academy	Cornell University	20 July – 13 Sept
2019	Digital Forensic	Pusilkom UI	26-27 Nov

<b>Tahun</b>	<b>Jenis Pelatihan (Dalam/ Luar Negeri)</b>	<b>Penyelenggara</b>	<b>Waktu</b>
2016	Workshop Dosen Konselor: Deteksi dan Penanganan Masalah Psikologis pada Mahasiswa	Bidang Akademik dan Kemahasiswaan UI	23 Agt
2015	Pelatihan Asesor Kompetensi	BNSP	8 – 13 Sept
2015	Psychological Coaching and Counseling using Clean Language	Bid Akademik & Kemahasiswaan UI	11 – 12 Nov
2014	IBM Rational Software Development Tools	Global Knowledge	6 – 17 Okt
2012	Rational Bootcamp for Software Requirement and Design	IBM	18 – 22 Jun
2009	Teacher Training Course: Teaching in English	LBI – FIB UI	1-12 Dec
2008	Pelatihan Ketrampilan Dasar Teknik Instruksional (Pekerti)	DPA UI	30 jam
2008	Ancangan Aplikasi (AA)	DPA UI	30 jam

<b>Tahun</b>	<b>Jenis Pelatihan (Dalam/ Luar Negeri)</b>	<b>Penyelenggara</b>	<b>Waktu</b>
2008	Pelatihan Penulisan Buku Tesk/Ajar Berorientasi ISBN	DRPM UI	
2007	Academic Presentation Skill Course	PPB – FIB UI	32 hours
2005	4th International Training Workshop on Self-Learning Material Development	University Sains Malaysia	14-18 Nov
2004	Certified Information System Auditor (CISA) Review Course.	Fasilkom UI - ISACA Indonesia Chapter.	6 Mar – 5 Jun
2002	Pra Jabatan Nasional	Diklat Pemprov DKI	11-27 Des
2001	Workshop on UML Implementation with Rational Rose	PT Asimetris Data Sentosa	24-25 Jan
2001	Certificate in Computer Aided Verification Short-Course: “Teknologi Otomasi Pengujian Sistem”	Fasilkom UI - Universiteit Utrecht, The Netherlands	9 – 20 Jul



<b>Tahun</b>	<b>Jenis Pelatihan (Dalam/ Luar Negeri)</b>	<b>Penyelenggara</b>	<b>Waktu</b>
2000	International School and Symposium on Formal Technique in Real-Time and Fault-Tolerant System (FTRTFT) 2000	Tata R&D and Design Centre – Pune, India	18-22 Sep
2000	Certificate in Object-Oriented Analysis and Design (OOAD) Using the Unified Modeling Language (UML) and Introduction to Rational Rose	PT. Asimetris Data Sentosa (Rational Software Consulting Partner)	20-24 Nov
1994	Metoda Formal dalam Rekayasa Perangkat Lunak	UNU/IIST & Pusilkom UI	23 Mei – 3 Jun

### **Penghargaan yang Pernah Diterima**

<b>Tahun</b>	<b>Nama Tanda Penghargaan</b>	<b>Lembaga Pemberi</b>
2022	Satyalancana Karya Satya XX Tahun	Presiden RI
2018	Best Sesion Presenter Award	IWBIS
2017	Certificate of Excellence in Reviewing	Int'l Journal of Technology
2013	Satyalancana Karya Satya X Tahun	Presiden RI
2012	Lenovo DoNetwork Finalist	LENOVO

<b>Tahun</b>	<b>Nama Tanda Penghargaan</b>	<b>Lembaga Pemberi</b>
1998	First Prize Graduate Poster Competition	Dept of Computer Science, Univ of Auckland NZ

### **Hibah Penelitian**

<b>No</b>	<b>Tahun</b>	<b>Skema Hibah</b>	<b>Judul Penelitian</b>	<b>Sumber Dana</b>
1	2023	PUTI Q1	Evaluation Criterion Enhancement of Generative Adversarial Network Imputation	UI
2	2022	PUTI Q1	Vision Transformer	UI
3	2020	PUTI Prosiding	Computer Vision using Deep Learning	UI
4	2020	PUTI Prosiding	Computers for Improving Human Life Quality: Food Classification, Dietary Assessment and Depression I	UI
5	2021-2022	PPI Q1	Automatic Recognition System of Indonesia Traditional Food Knowledge and Big Data Stream Algorithm	UI
6	2021	PUTI Doktor	Sistem Space Time Velocimetry Berbasis FPGA untuk	UI

No	Tahun	Skema Hibah	Judul Penelitian	Sumber Dana
			Pengukuran Distribusi Vektor Kecepatan Aliran Air	
7	2020	PUTI Q1	In-TFK: A Scalable Traditional Food Knowledge Platform, A New Traditional Food Dataset, Platform, an	UI
8	2020	PUTI Prosiding	Open Unified Process (OpenUP) untuk Optimalisasi Proses Pengembangan Aplikasi Layanan Berskala Kecil dan Menengah	UI
9	2020	PUTI Q1	Multi Region-Based Feature Extraction Layer (RB-FCL) of Deep Learning Models for Bone Age Assessment	UI
10	2020-2021	PUTI Doktor	FPGA Resources Management for Deployment of Deep Learning Inference for Remote Sensing Image Analysi	UI
11	2019	PITA B	Classification Method	UI

No	Tahun	Skema Hibah	Judul Penelitian	Sumber Dana
			for Decision Support System	
12	2019	PIT 9	Knowledge Extraction from Big Data	UI
13	2017 - 2018	Riset Berbasis Kompetensi	Pengembangan Intelligent Embedded System pada Alat Kesehatan dalam Mendukung Peningkatan Layanan Kesehatan	Ristekdikti
14	2017	Disertasi Doktor	Pengembangan Diagram Navigasi untuk Mendukung Comprehension System dalam Rekayasa Perangkat Lunak	UI
15	2016	PITA	Rekonfigurasi Unified Process untuk Pengembangan Piranti Lunak Skala Kecil dan Menengah	UI
16	2016	Stranas	Rekonfigurasi Unified Process untuk Pengembangan Piranti Lunak Skala Kecil dan Menengah	Ristekdikti

No	Tahun	Skema Hibah	Judul Penelitian	Sumber Dana
17	2015 - 2016	PUPT	Intelligent Traffic System for Sustainable Environment	Ristekdikti
18	2015 - 2016	PUPT	Sistem Pemantauan Konsentrasi CO2 Menggunakan WSN Sebagai Langkah Strategis dalam Menghadapi Isu Perubahan Iklim	Ristekdikti
19	2013 - 2014	MP3EI	Real Time Advanced Traffic Information Gathering dengan Menggunakan Intelligent Traffic System untuk Mengatasi Kepadatan Kendaraan di Kota Besar	UI

**Publikasi Ilmiah di Jurnal Lima Tahun Terakhir**

Tahun	Artikel Jurnal
2023	<b>Mursanto, P.,</b> Wibisono, A., Fahira, P.K., Rahmadhani, Z.P., Wisesa, H.A., In-TFK: a scalable traditional food knowledge platform, a new traditional food dataset, platform, and multiprocess inference service, (2023) Journal of Big Data, 10 (1)

Tahun	Artikel Jurnal
	Sirenden, B.H., <b>Mursanto, P.</b> , Wijonarko, S., Dynamic texture analysis using Temporal Gray scale Pattern Image for water surface velocity measurement, (2023) <i>Image and Vision Computing</i> , 137.
	Sirenden, B.H., <b>Mursanto, P.</b> , Wijonarko, S., Galois field transformation effect on space-time-volume velocimetry method for water surface velocity video analysis, (2023) <i>Multimedia Tools and Applications</i> , 82 (8), pp. 12167-12189.
<b>2022</b>	Sensuse, D.I., Arief, A., <b>Mursanto, P.</b> , An Empirical Validation of Foundation Models for Smart Government in Indonesia, (2022) <i>International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology</i> , 12 (3), pp. 1132-1141.
	Arief, A., Sensuse, D.I., <b>Mursanto, P.</b> , Smart city's trends, architectures, components, and challenges: A systematic review and building an initial model for Indonesia, (2022) <i>Engineering and Applied Science Research</i> , 49 (2), pp. 259-271.
<b>2021</b>	Mulyanto, A., Jatmiko, W., <b>Mursanto, P.</b> , Prasetyawan, P., Borman, R.I., A new Indonesian traffic obstacle dataset and performance evaluation of yolov4 for adas, (2021) <i>Journal of ICT Research and Applications</i> , 14 (3), pp. 285-298.
<b>2020</b>	Wibisono, A., <b>Mursanto, P.</b> , Adibah, J., Bayu, W.D.W.T., Rizki, M.I., Hasani, L.M., Ahli, V.F., Distance variable improvement of time-series big data stream evaluation, (2020) <i>Journal of Big Data</i> , 7 (1).
	Wibisono, A., <b>Mursanto, P.</b> , Multi Region-Based Feature Connected Layer (RB-FCL) of deep learning models for bone

Tahun	Artikel Jurnal
	<p>age assessment, (2020) Journal of Big Data, 7 (1).</p> <p>Ma'sum, M.A., Sanabila, H.R., <b>Mursanto, P.</b>, Jatmiko, W., Clustering versus incremental learning multi-codebook fuzzy neural network for multi-modal data classification (2020) Computation, 8 (1).</p> <p>Sarwinda, D., Wibisono, A., Arrumaisha, H., Raihan, Z., Rizky FT, R.N., Pradana, R.P., Hafidh, M.A., <b>Mursanto, P.</b>, Analysis of Large-Scale Diabetic Retinopathy Datasets Using Texture and Blood Vessel Features, (2020) Studies in Computational Intelligence, 850, pp. 141-155.</p>
2019	Wibisono, A., Sarwinda, D., <b>Mursanto, P.</b> , Tree stream mining algorithm with Chernoff-bound and standard deviation approach for big data stream, (2019) Journal of Big Data, 6 (1).

**Publikasi Ilmiah di Prosiding Lima Tahun Terakhir**

Tahun	Artikel Prosiding Conference
2020	<p>Mulyanto, A., Borman, R.I., Prasetyawan, P., Jatmiko, W., <b>Mursanto, P.</b>, Sinaga, A., Indonesian Traffic Sign Recognition for Advanced Driver Assistent (ADAS) Using YOLOv4, (2020) 2020 3rd International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems, ISRITI 2020, pp. 520-524.</p> <p>Wibisono, A., Wisesa, H.A., Rahmadhani, Z.P., Fahira, P.K., <b>Mursanto, P.</b>, Jatmiko, W., Traditional food knowledge of Indonesia: a new high-quality food dataset and automatic recognition system, (2020) Journal of Big Data, 7 (1).</p> <p>Sirenden, B.H., <b>Mursanto, P.</b>, Wijonarko, S., Dynamic</p>

Tahun	Artikel Prosiding Conference
	Texture Analysis Using Auto-correlation Function of Histogram Similarity Measure from Galois-Field Texture Representation of Water Flow Video, (2020) Proceeding - 2020 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics and Telecommunications, ICRAMET 2020, pp. 51-56.
	Fahira, P.K., Rahmadhani, Z.P., <b>Mursanto, P.</b> , Wibisono, A., Wisesa, H.A., Classical Machine Learning Classification for Javanese Traditional Food Image, (2020) ICICoS 2020 - Proceeding: 4th International Conference on Informatics and Computational Sciences.
	Riansyah, M., <b>Mursanto, P.</b> , Empirical evaluation of the impact of refactoring on internal quality attributes, (2020) 2020 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems, ICAC SIS 2020, pp. 463-470.
	Purnama, I.D.C., <b>Mursanto, P.</b> , Hazmi, F., Oriza, I.I.D., Development of android-based counseling application using open unified process (OpenUP), (2020) 2020 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems, ICAC SIS 2020, pp. 457-462.
	<b>Mursanto, P.</b> , Wibisono, A., Bayu, W.D.W.T., Ahli, V.F., Rizki, M.I., Hasani, L.M., Adibah, J., Time-Series Big Data Stream Evaluation, (2020) 2020 International Workshop on Big Data and Information Security, IWBIS 2020, pp. 41-45.
<b>2019</b>	Wibisono, A., Adibah, J., Priatmadji, F.S., Viderisa, N.Z., Husna, A., <b>Mursanto, P.</b> , Performance analysis of deep learning network models of localized images in chest X-ray decision support system, (2019) ACM International



Tahun	Artikel Prosiding Conference
	Conference Proceeding Series, pp. 54-59.
	Wibisono, A., Adibah, J., <b>Mursanto, P.</b> , Saputri, M.S., Improvement of big data stream mining technique for automatic bone age assessment, (2019) ACM International Conference Proceeding Series, pp. 119-123.
	Suciati, A., Wibisono, A., <b>Mursanto, P.</b> , Twitter Buzzer Detection for Indonesian Presidential Election, (2019) ICICOS 2019 - 3rd International Conference on Informatics and Computational Sciences: Accelerating Informatics and Computational Research for Smarter Society in The Era of Industry 4.0, Proceedings.
	Al-Ash, H.S., Putri, M.F., <b>Mursanto, P.</b> , Bustamam, A., Ensemble Learning Approach on Indonesian Fake News Classification, (2019) ICICOS 2019 - 3rd International Conference on Informatics and Computational Sciences: Accelerating Informatics and Computational Research for Smarter Society in The Era of Industry 4.0, Proceedings.
	Mulyanto, A., Borman, R.I., Prasetyawan, P., Jatmiko, W., <b>Mursanto, P.</b> , Real-Time Human Detection and Tracking Using Two Sequential Frames for Advanced Driver Assistance System, (2019) ICICOS 2019 - 3rd International Conference on Informatics and Computational Sciences: Accelerating Informatics and Computational Research for Smarter Society in The Era of Industry 4.0, Proceedings.
	Fahira, P.K., Wibisono, A., Wisesa, H.A., Rahmadhani, Z.P., <b>Mursanto, P.</b> , Nurhadiyatna, A., Sumatra Traditional Food Image Classification Using Classical Machine Learning (2019) ICICOS 2019 - 3rd International Conference on Informatics and Computational Sciences: Accelerating Informatics and

Tahun	Artikel Prosiding Conference
	Computational Research for Smarter Society in The Era of Industry 4.0, Proceedings.
	Waladi, A., Arymurthy, A.M., Wibisono, A., <b>Mursanto, P.</b> , Automatic counting based on scanned election form using feature match and convolutional neural network, (2019) 2019 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems, ICACSIS 2019, pp. 193-198.
	Sirenden, B.H., Arymurthy, A.M., <b>Mursanto, P.</b> , Wijonarko, S., Algorithm Comparisons among Space Time Volume Velocimetry, Horn-Schunk, and Lucas-Kanade for the Analysis of Water Surface Velocity Image Sequences (2019) 2019 International Conference on Computer, Control, Informatics and its Applications: Emerging Trends in Big Data and Artificial Intelligence, IC3INA 2019, pp. 47-52.
	Karvana, K.G.M., Yazid, S., Syalim, A., <b>Mursanto, P.</b> , Customer Churn Analysis and Prediction Using Data Mining Models in Banking Industry (2019) 2019 International Workshop on Big Data and Information Security, IWBIS 2019, pp. 33-38.
	Bona, D.S., Murni, A., <b>Mursanto, P.</b> , Semantic segmentation and segmentation refinement using machine learning case study: Water turbidity segmentation (2019) Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology, ICARES 2019.
	Saputri, M.S., Wibisono, A., <b>Mursanto, P.</b> , Rachmad, J., Comparative analysis of automated bone age assessment techniques (2019) Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics,

Tahun	Artikel Prosiding Conference
	2019-October, pp. 3567-3572.
	Dimas Nugroho, R., <b>Mursanto, P.</b> , Design of Laboratory Management Information System: Case Study National Narcotics Board Republic of Indonesia, (2019) Journal of Physics: Conference Series, 1175 (1).
	Roza Albareta, A., <b>Mursanto, P.</b> , Design of Standard Operating Procedure for Requirement Engineering in Software Development: Case Study Data Processing Integration Subdirectorates Statistics Indonesia (2019) Journal of Physics: Conference Series, 1175 (1).
	Wibisono, A., Saputri, M.S., <b>Mursanto, P.</b> , Rachmad, J., Alberto, Yudasubrata, A.T.W., Rizki, F., Anderson, E., Deep Learning and Classic Machine Learning Approach for Automatic Bone Age Assessment, (2019) 2019 4th Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems, ACIRS 2019, pp. 235-240.
	Wibisono, A., Adibah, J., Priatmadji, F.S., Viderisa, N.Z., Husna, A., <b>Mursanto, P.</b> , Segmentation-based Knowledge Extraction from Chest X-ray Images, (2019) 2019 4th Asia-Pacific Conference on Intelligent Robot Systems, ACIRS 2019, pp. 225-230.
	Bayu, W.D.W.T., Iffah Rizki, M., Hasani, L.M., Fil Ahli, V., Wibisono, A., <b>Mursanto, P.</b> , Analysis of Two Various Approaches for Attributes Classification Based on User-Submitted Photos, (2019) Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, 2019-July.
<b>2018</b>	<b>Mursanto, P.</b> , Nugroho, R.D., New Polynomial Based Bit-Level Serial GF(2 <sup>m</sup> ) Multiplier for RS(15,11) 4-bit Codec Optimization (2018) 2018 International Workshop on Big

Tahun	Artikel Prosiding Conference
	Data and Information Security, IW BIS 2018, pp. 107-112.
	Bona, D.S., Arymurthy, A.M., <b>Mursanto, P.</b> , Classification of limestone mining site using multi-sensor remote sensing data and OBIA approach: A case study: Biak Island, Papua (2018) 2018 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems, ICACSIS 2018, pp. 417-422.
	<b>Mursanto, P.</b> , Pasaribu, D.C., Defining software quality rank using analytic hierarchy process and object-oriented metrics (2018) 2018 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems, ICACSIS 2018, pp. 319-324.
	<b>Mursanto, P.</b> , Albareta, A.R., Circular shift squarer for efficiency improvement of normal basis Galois Field inverter (2018) 2018 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems, ICACSIS 2018, pp. 13-16.
	Octavianus, R., <b>Mursanto, P.</b> , The analysis of critical success factor ranking for software development and implementation project using AHP, (2018) 2018 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems, ICACSIS 2018, pp. 313-318.
	Tenovo, B., <b>Mursanto, P.</b> , Santoso, H.B., Reverse Engineering Software Tools Based on a Comprehension System (2018) Proceedings - 2017 7th World Engineering Education Forum, WEEF 2017- In Conjunction with: 7th Regional Conference on Engineering Education and Research in Higher Education 2017, RCEE and RHEd 2017, 1st International STEAM Education Conference, STEAMEC 2017 and 4th Innovative

<b>Tahun</b>	<b>Artikel Prosiding Conference</b>
	Practices in Higher Education Expo 2017, I-PHEX 2017, pp. 202-209.

### **Hak Kekayaan Intelektual (HKI)**

<b>Tahun</b>	<b>Judul Karya/Inovasi/Hak Cipta</b>	<b>Nomor P/ID</b>
2020	Hak Cipta Video Pembelajaran bidang Sistem Digital	EC00202061304 - EC00202061372, EC00202061399 - EC00202061405, EC00202061983, EC00202061982, EC00202061986
2015	Kompresi EKG 12 Lead	C0020150339
2014	Prototipe Sistem Pengaturan Lampu Lalu Lintas Terdistribusi Menggunakan Sensor Kamera dan Data Real-Time	C00201401299
2014	Simulator Robot Pencari Sumber Asap	C00201401300
2014	TERRAIN: Sistem Telehealth Pertumbuhan Janin	C00201401301

**Reviewer Artikel Ilmiah**

<b>INTERNATIONAL JOURNAL</b>	
1.	Computer Methods and Programs in Biomedicine, Elsevier
2.	Expert Systems with Applications, Elsevier
3.	Engineering Science and Technology, Elsevier
4.	International Journal of Medical Informatics, Elsevier
5.	Results in Control and Optimization, ScienceDirect
6.	Applied Sciences, MDPI
7.	Sensors, MDPI
8.	International Journal of Technology
<b>NATIONAL JOURNAL</b>	
1.	Jurnal Sistem Informasi (JSI)
2.	Jurnal Ilmu Komputer dan Informasi (JIKI)
<b>INTERNATIONAL CONFERENCES</b>	
1.	International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS)
2.	International Workshop on Big Data and Information Security (IWBIS)
3.	International Conference on Informatics and Computing (ICIC)
4.	International Conference on Informatics and Computational Sciences (ICICoS)

**Setting & Percetakan Oleh: UI PUBLISHING**

Komplek ILRC Gedung B Lt. 1 & 2  
Perpustakaan Lama Universitas Indonesia,  
Kampus UI, Depok, Jawa Barat - 16424

Jl. Salemba Raya No. 4, Jakarta Pusat - 10430  
WA : 0818 436 500  
E-mail: [uipublishing@ui.ac.id](mailto:uipublishing@ui.ac.id)



Terima kasih atas perhatian dan do'a Bapak/Ibu/Saudara pada Upacara Pengukuhan

***Prof. Dr. Ir. Petrus Mursanto, M.Sc.***

sebagai Guru Besar Bidang *Digital Systems and Lab* Universitas Indonesia

pada hari Rabu, 13 Desember 2023

Mohon maaf sebesar-besarnya apabila ada hal yang kurang berkenan di hati pada upacara ini.

***Prof. Dr. Ir. Petrus Mursanto, M.Sc. dan Keluarga***

**Keluarga Besar Fakultas Ilmu Komputer Universitas Indonesia**



UNIVERSITAS  
INDONESIA

*Virtus Prohibet, Scilicet*

FAKULTAS  
ILMU  
KOMPUTER

