

## TINJAUAN TERHADAP TEKNOLOGI KOMPUTASI RAMAH LINGKUNGAN: STUDI LITERATUR

### *STUDY OF GREEN COMPUTING ENVIRONMENT TECHNOLOGY: REVIEW LITERATURE*

Yahfizham<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Pascasarjana Pendidikan Teknologi dan Kejuruan (PTK), Fakultas Teknik, UNP

\*e-mail: yahfizhammedan@gmail.com

**Abstrak**— Analisis tinjauan pada studi literatur terhadap artikel atau tulisan yang membahas mengenai teknologi komputasi ramah lingkungan atau komputasi hijau dilakukan mulai dari tahun 2011 sampai 2015 yang bertujuan untuk memaparkan bahwa ternyata konsep dari teknologi komputasi yang ramah lingkungan memiliki perspektif yang luas, dalam dengan berbagai macam pendekatan. Secara keseluruhan, inti (*core*) yang dibahas adalah manajemen sumber daya yang digunakan pada teknologi komputasi awan yang ramah lingkungan (*green cloud computing*) dari aspek perangkat lunak, perangkat keras, proses komputasi dan upaya-upaya yang dilakukan kearah penciptaan, pembaharuan dan hemat energi dengan berbagai macam pendekatan yang praktis, logis dan rasional. Menciptakan sumber daya manusia yang berstandarisasi pada pola pikir, sikap dan perilaku kearah peduli terhadap teknologi yang ramah lingkungan.

*Kata Kunci* : komputasi hijau, komputasi awan, hemat energi

**Abstract**— A review about environment friendly computing technology or green computing technologies is conducted from at 2011 to 2015 aimed to explaining that the concept of environmentally friendly computing technology has a broad perspective, in a variety of approaches. Overall, the core discussed is resource management used in cloud computing technology that is green cloud computing from aspects of software, hardware, computing process and efforts made towards the creation, renewal and energy saving with a variety of practical, logical and rational approaches. Creating standardized human resources on thought patterns, attitudes and behaviors towards care for environment friendly technologies.

*Keywords* : green computing, cloud computing and energy efficiency

Copyright © 2017 INVOTEK. All rights reserved

### 1. PENDAHULUAN

Teknologi komputasi ramah lingkungan atau komputasi hijau secara umum membahas mengenai konsep-konsep atau teori-teori dari perancangan dan pengembangan suatu sistem operasi, sistem aplikasi dan teknologi komputasi awan pada pusat-pusat data penyedia layanan (*server*) yang hemat energi dan tentunya ramah lingkungan. Perancangan dan pengembangan perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), perangkat sumber daya manusia

(*brainware*) dan juga termasuk daur ulangnya merupakan suatu kajian holistik dari komputasi ramah lingkungan. Manajemen sumber daya, termasuk layanan penyedia teknologi komputasi awan, kebiasaan penggunaan komputer dan pendirian suatu jurusan atau program studi yang secara khusus fokus pada teknologi komputasi ramah lingkungan yang berbasis pada teknologi komputasi awan (*cloud computing*) termasuk bidang kajian menarik dan masih tergolong baru.

Sebagaimana yang kita ketahui bersama bahwa sekarang ini sosialisasi, kampanye-

kampanye dan program-program mengenai penerapan teknologi komputasi yang ramah lingkungan di Indonesia melalui berbagai macam media dan keterlibatan Pemerintah dari berbagai Kementerian seperti Lingkungan Hidup, Komunikasi dan Informatika, dan dunia usaha serta industri nyaris tidak lagi terdengar. Untuk itu seharusnya kita tidak pernah bosan mengingatkan kembali betapa sangat pentingnya kajian terhadap teknologi komputasi yang ramah lingkungan kembali diisukan dan agar dapat memberikan langkah yang tepat terkait dengan konsep komputasi hijau sehingga kelestarian alam pada kaitannya dengan kemajuan dan pemanfaatan perangkat *Information Communication and Technology* (ICT) dapat menjadi landasan oleh seluruh pihak.

Tinjauan ini mengulas dan menemukan bahwa ternyata konsep dari teknologi komputasi yang ramah lingkungan memiliki perspektif yang luas dan dalam, mulai dari aspek konsep dan definisi, manajemen sumber daya yang hemat energi dari sisi perangkat lunak dan keras, kebiasaan penggunaan komputer, limbah komputer dan berbagai macam pendekatan sampai dengan pendirian suatu tempat praktek (laboratorium). Namun masih terdapat celah yang menarik untuk ditindak lanjuti misalkan saja mengembangkan dan menciptakan produk sumber daya manusia yang nantinya akan menjadi pemimpin dengan menanamkan nilai-nilai yang peduli terhadap ekologi dengan pola pikir, pola sikap dan pola perilaku yang mengarah pada kelestarian lingkungan. Perguruan Tinggi diharapkan mampu menjadi pioner untuk menghasilkan sumber daya manusia yang *eco-friendly*.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Teknologi komputasi ramah lingkungan atau komputasi hijau adalah bidang kajian yang kompleks dan holistik terkait dengan analisis ekonomi yang efisien karena mahal biaya konsumsi energi listrik, tata kelola dan pelaksanaannya mulai dari desain, pembuatan, penggunaan dan pengolahan dari seluruh sumber daya ICT, sehingga membutuhkan pendekatan dengan cara-cara yang efektif dalam memanfaatkan energi listrik tersebut yang berdampak pada upaya menjaga kelestarian lingkungan dan ekologi.

Kita mendapati popularitas yang meningkat terhadap konsep teknologi komputasi yang ramah lingkungan atau komputasi hijau pada dekade terakhir. Selain sensitivitas luas untuk isu-isu ekologi, ditambah lagi dengan kajian analisis dari sisi ekonomi, karena keduanya saling terkait antara biaya yang dikeluarkan dan kebutuhan konsumsi energi listrik pada industri yang bergerak dibidang teknologi informasi di seluruh dunia menunjukkan tren kearah mahalnnya harga energi listrik tersebut dan disisi lain adalah upaya penjagaan kondisi lingkungan [1].

Teknologi komputasi yang ramah lingkungan merupakan isu baru atau trending topik didunia Teknologi Informasi dan Komunikasi (ICT). Komputasi ramah lingkungan yang efisien telah menjadi perhatian penting dalam industri teknologi informasi perangkat keras pada semua tingkatan seperti misalnya teknologi *microchip*, perangkat lunak seperti sistem operasi dan aplikasi serta manajemennya. Meningkatnya pertumbuhan penyimpanan data yang besar dan permintaan layanan terhadap komputasi awan yang ramah lingkungan, menjadi domain penelitian yang menarik. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan langkah-langkah penting pada sejumlah besar area yang fokus pada manajemen sumber daya, virtualisasi server, desain pusat data, metode daur ulang, *eco-labeling*, desain keberlanjutan lingkungan dan energi sumber daya yang efisien [2][5].

Begitu pesatnya perkembangan dari teknologi informasi dan komunikasi (ICT), sehingga tidak memikirkan dampak negatif terhadap lingkungan sekitar kita. Lalu bagaimana merubah pola sikap atau pola pikir dilingkungan kampus bahwa ICT tidak hanya sekedar pemanfaatannya secara praktis saja namun lebih dari itu bahwa menjaga ketersediaan sumber daya dan meminimalkan dampak negatif perkembangan ICT tersebut terhadap lingkungan harus terpikirkan dan berkelanjutan demi masa depan kita bersama. Kurangnya motivasi dan adopsi terhadap kebijakan teknologi informasi dan komunikasi yang ramah lingkungan (*Green Information Communication and Technology/GICT*) dapat menjadi fokus perhatian bagi para pembuat keputusan untuk menyusun dan membuat suatu kebijakan dan strategi berbasis GICT tersebut. Setidaknya GICT dapat mulai diterapkan dari

lingkungan sekolah, kampus dan kantor dengan cara-cara seperti mengurangi penggunaan kertas dan menggunakan *video conference* [3][16][17][24].

Teknologi virtualisasi telah digunakan secara luas pada pusat data seperti sekarang ini dalam rangka meningkatkan efisiensi energi. Mesin virtual (VM) sebagai suatu cara yang digunakan untuk pusat data dan sistem penyimpanan, terutama karena penyediaan layanan dan konsolidasi penghematan energi. Pendekatan pemodelan data pra-proses lalu bermigrasi ke penggunaan layanan komputasi awan secara *online-real-time-system*. Rancangan pemodelan ini meliputi komponen yang disebut sebagai mesin pemicu yang memulai migrasi secara otomatis ke mesin-mesin virtual sehingga menghasilkan suatu teknologi komputasi awan yang hemat energi dan ramah lingkungan [4].

Internet Data Center tumbuh menjadi skala besar di lingkungan industri teknologi informasi dan komunikasi terutama dengan perkembangan teknologi komputasi awan. Pasar aplikasi *smartphone* berbasis pelacakan lokasi (*position tracking*) menjadi penting dan tumbuh semakin membesar. Sistem aplikasi *smartphone* berbasis pelacakan lokasi terdiri dari dua sisi, yakni dari sisi penyedia layanan (*provider*) jaringan, yang bertanggung jawab untuk mengumpulkan seluruh data posisi pengguna dan di sisi lain adalah penyedia layanan komputasi awan yang memproses aplikasi dijalankan sehingga komunikasi terjadi antar keduanya. Meskipun *hardware smartphone* semakin lebih hemat energi, namun ketahanan daya (waktu operasional yang singkat) dan konsumsi baterai yang cepat habis karena pengguna intens melakukan komunikasi tersebut tetap menjadi salah satu permasalahan utama dari aplikasi berbasis pelacakan lokasi [6].

Besarnya kebutuhan akan konsumsi energi listrik adalah hambatan utama untuk teknologi komputasi awan yang ramah lingkungan, terutama dengan pemanasan iklim dan secara global penyedia layanan pusat data semakin banyak. *The International Telecommunication Union* pada bulan Mei tahun 2014 telah memprediksi ada sekitar 7 miliar pengguna perangkat teknologi informasi bergerak (seluler/ponsel), ini setara dengan 95,5% dari jumlah populasi dunia. Jumlah pengguna ponsel tidak sama dengan jumlah pengguna layanan aplikasi ponsel. Di tahun 2015 akan ada lebih

banyak pengguna ponsel yang mengakses internet melalui perangkat mobile dibandingkan dengan PC. Dari sudut pandang *Mobile Cloud Computing* (MCC) kekuatan pemrosesan dikelola oleh server tidak oleh ponsel dengan motif utama adalah untuk menghemat energi dengan cara yang efisien [7].

Teknologi komputasi awan (*cloud computing*) muncul sebagai solusi untuk masalah pengaturan infrastruktur industri ICT. Namun berdampak negatif terhadap meningkatnya konsumsi energi listrik yang sangat drastis sehingga menghasilkan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) tinggi yang berbahaya bagi lingkungan dan masa depan [8]. Saat ini, permintaan layanan komputasi awan dan teknologi aplikasi berbasis komputasi awan semakin besar (*services computing and cloud computing*). Banyak perusahaan yang berorientasi dibidang penyedia layanan mengalami permasalahan kompleks misalnya optimalisasi layanan, keamanan data, server yang handal dan lain sebagainya. Masalah lain adalah mengembangkan suatu teknik rancangan aplikasi yang efektif dan efisiensi sumber daya sehingga waktu pemrosesan dapat lebih cepat dengan sedikit sumber daya perangkat yang dibutuhkan untuk menyelesaikan keseluruhan tugas. Untuk itu perlu dirancang suatu algoritma seleksi layanan optimal, dan pengembangan aplikasi yang ramah lingkungan [9].

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi (*Information and Communication Technology/ICT*) ikut berperan dalam manajemen basis data bencana alam. Tantangan dari manajemen basis data bencana alam adalah ketersediaan skalabilitas kebutuhan tempat penyimpanan data yang besar dan sistem pengolahan data yang handal. Data yang besar mengacu pada sekumpulan data (koleksi data) yang diterima dari berbagai alat masukan sehingga dibutuhkan tata kelola yang baik. Komputasi awan menyediakan infrastruktur yang memadai untuk memenuhi persyaratan skema penyimpanan data yang handal dan besar yang didukung oleh penggunaan kembali, integrasi, analisis dan berbagi informasi yang dibutuhkan yang mana adalah penyedia layanan awan (*cloud service provider*) menyediakan fasilitas tersebut [10].

Pengelolaan limbah elektronik seperti monitor, printer, tempat penyimpanan data digital dan perangkat jaringan komunikasi

menciptakan kesadaran atau kepedulian terhadap lingkungan. Tujuan utamanya adalah rekayasa suatu model atau perangkat lunak untuk memaksimalkan atau optimisasi efisiensi dari perangkat tersebut dan mengurangi penggunaan bahan berbahaya serta mempromosikan daur ulang dari limbah pabrik elektronik [11][12], melakukan riset komputasi hijau pada teknologi komputasi awan dari sisi layanan aplikasi dengan menggunakan algoritma genetika dan berhasil membuktikan adanya penghematan konsumsi energi listrik.

Sebagian besar literatur mengulas persoalan mengenai suatu model pengembangan aplikasi teknologi informasi bergerak (*mobile*) yang ramah lingkungan dan hemat energi. *Stack Overflow* (SO) menjadi topik masalah pembahasan yang paling komperhensif dikalangan pengembang aplikasi terkait dengan karakteristik, isu-isu yang hangat dibicarakan dan *Application Programming Interfaces* (APIs). Sisi lain bahwa pertumbuhan *hardware* ICT semakin mendorong meningkatnya kebutuhan akan energi listrik dan berdampak terhadap lingkungan pengembangan perangkat lunak yang hemat energi (*software energy efficiency*) [13].

A *Wireless Storage Area Network* (WSAN) adalah jaringan khusus yang terdapat pada internet sebagai perangkat tempat penyimpanan data yang dipakai bersama oleh banyak pengguna. Arsitektur WSAN mempergunakan suatu protokol umum untuk berkomunikasi dan mekanismenya menggunakan lebih dari satu array dari tempat penyimpanan data secara permanen, sehingga berbiaya murah, efisien (handal dan cepat), hemat energi listrik yang nantinya dapat meningkatkan produktivitas ekonomi masyarakat dan ramah lingkungan [14].

Pusat data adalah jantung dari komputasi dan munculnya tuntutan layanan internet telah meningkat vitalitasnya. Beban kerja intens pusat data untuk memenuhi kebutuhan pelanggan secara tidak langsung memberikan kontribusi terhadap polusi dunia melalui penggunaan energi listrik yang besar. Teknologi ramah lingkungan (*Green IT*) menjadi topik yang menarik untuk dibahas pada *Science, Technology, Engineering* dan *Mathematics* (STEM) [15][18][19].

Kemajuan teknologi telah memungkinkan pengembangan lebih maju hardware hemat

energi seperti monitor Bioplasma yang membutuhkan jauh lebih sedikit daya untuk beroperasi [20]. [21], menemukan bahwa teknologi komputasi yang ramah lingkungan/hijau, secara umum dalam dunia disiplin ilmu terapan seperti ilmu komputer meliputi *dynamic power scaling* adalah sebuah teknik arsitektur komputer yang memungkinkan penurunan drastis dalam tingkat kerja atau frekuensi mikroprosesor atau *link interface* untuk mengurangi konsumsi energi dan panas oleh chip. *CPU throttling* paling sering terjadi pada perangkat mobile dan laptop di mana energi berasal dari baterai dan karenanya terbatas. *Dynamic Power Scaling* menggunakan dua teknik utama yaitu daya *idle* rendah dan tingkat adaptif. Biasanya prosesor dipaksa untuk beroperasi berdaya rendah bila tidak memproses kerja dan dengan cepat beralih ke status daya tinggi saat memproses satu atau lebih kerja. Kini, teknik baru membuat prosesor bekerja dengan dinamis menyesuaikan kapasitas prosesor atau link sesuai dengan persyaratan layanan dan beban lalu lintas.

Teknologi komputasi *grid* terkait dengan sistem komputasi terdistribusi, yang memungkinkan seluruh sumber daya (*resource*) dalam jaringan, seperti pemrosesan, bandwidth jaringan, dan kapasitas media penyimpan, membentuk sebuah sistem tunggal secara virtual. Seperti halnya pengguna internet yang mengakses berbagai situs web dan menggunakan berbagai protokol seakan-akan dalam sebuah sistem yang berdiri sendiri, maka pengguna aplikasi *grid computing* seolah-olah akan menggunakan sebuah virtual komputer dengan kapasitas pemrosesan data yang sangat besar. *Grid computing* dan *globus toolkit* menawarkan solusi komputasi yang murah, yaitu dengan memanfaatkan sumber daya yang tersebar dan heterogen serta pengaksesan yang mudah dari mana saja dengan kelompok komputer yang saling terhubung dan berjalan secara paralel tanpa saling bergantung satu dengan yang lainnya [22][23].

### 3. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada tulisan ini merupakan kunjungan ke suatu halaman *world wide web* (*site visit*) terhadap kajian tinjauan dari studi literatur (*review of the literature*) yang dilakukan dengan jenis pemaparan (*narrative*)

untuk topik bahan bacaan yang relevan dengan teknologi komputasi yang ramah lingkungan (*Green Computing*). Teknik pemilihan sumber artikel atau tulisan yang dikerjakan sesuai dengan topik bahan bacaan yang relevan dengan teknologi komputasi yang ramah lingkungan yang berasal dari dua institusi penyedia layanan bacaan prosiding atau jurnal *online* yang terindeks SCOPUS yakni *IEEE xplore* (<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>) dan *ScienceDirect* (<http://www.sciencedirect.com/science/sub/compuserscience/all/open-access>).

Kedua institusi tersebut bereputasi telah sangat populer dikalangan praktisi dan akademisi yang sering dijadikan rujukan sumber bahan bacaan untuk kajian penelitian diberbagai bidang disiplin keilmuan, terutama teknologi informasi dan komunikasi. Teknik untuk memperoleh artikel berbayar dilakukan dengan mengetikkan atau mengkopi-paste kode *Digital Object Identifier* (DOI) kemudian membuka web site [www.gen.lib.rus.ec/scimago](http://www.gen.lib.rus.ec/scimago) atau [www.sci-hub.io](http://www.sci-hub.io).

Teknik analisis artikel yang dilakukan penulis dengan membuat suatu penyaringan (*apply filter*), berdasarkan pada tahun artikel yang diterbitkan (*publish year*) yakni 2011 sampai 2015, jenis nya (*content type*), judul terbitan (*publication title*) yang berkaitan dengan disiplin ilmu komputer, dan topik (*topic*). Pada *IEEE xplore*, diperoleh artikel berjumlah 204 dan pada *ScienceDirect* sebanyak 27 dengan total 231 artikel. Setelah membuat penyaringan, kemudian menentukan atau membuat suatu kriteria. Kriterianya adalah pada judul artikel setidaknya terdapat kata *green*, *computing* dan *review* dan *content type*-nya membahas mengenai teknologi komputasi awan (*cloud computing*) yang ramah lingkungan (*green computing*). Khusus pada *ScienceDirect*, penulis lebih rinci melakukan filter berdasarkan *publication title* yang dipilih ialah *procedia computer science* dan pada *topic* dipilih *cloud* dan *mobile*. Dari ketentuan kriteria tersebut maka penulis lebih lanjut mencocokkan pokok bahasan yang menjadi inti permasalahannya dan diperoleh sebanyak 24 artikel yang dijadikan bahan bacaan atau rujukan pada ulasan tinjauan ini.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Temuan yang diperoleh dari sejumlah artikel yang menjadi rujukan pada ulasan tinjauan ini membahas begitu pesatnya perkembangan dari teknologi komputasi awan (*cloud computing*) yang kemudian dihubungkan dengan teknologi komputasi yang ramah lingkungan, mengingat lonjakan yang besar terhadap konsumsi energi listrik dari berbagai macam perangkat elektronika yang dapat terhubung ke *cloud* dan besarnya uang yang dikeluarkan untuk pembiayaannya. Belum lagi sumber dayanya yang habis pakai dan perlu untuk dipikirkan penghematan dan ketersediaan sumber daya energi listrik yang terbarukan dimasa depan. Kemudian menciptakan seperangkat teknologi yang tidak bergantung pada fosil dan daur ulang sisa atau limbah perangkat keras ICT.

Berikutnya bahwa perlu adanya suatu konsep pengembangan kurikulum yang mengikut sertakan kajian teknologi komputasi ramah lingkungan mulai dari tingkat dasar, menengah sampai pada jenjang pendidikan tinggi. Dan atau setidaknya ada bidang kajian disiplin keilmuan yang mengkhususkan pada komputasi ramah lingkungan pada Jurusan-Jurusan atau Program Studi-Program Studi atau suatu tempat semacam laboratorium yang fokus terhadap perkembangan teknologi yang ramah lingkungan.

Tabel 1. Negara yang memiliki standardisasi teknologi komputasi ramah lingkungan

| No | Nama Negara | Standardisasi               |
|----|-------------|-----------------------------|
| 1  | USA         | Energy Star & LEED          |
| 2  | UK          | BREAM                       |
| 3  | Malaysia    | GBI                         |
| 4  | Singapore   | Green Mark for Data Centers |
| 5  | Australia   | NABERS                      |

Amerika Serikat, Inggris, dan Australia sudah lebih dulu mengembangkan konsep sumber daya manusia yang ramah lingkungan dengan memfokuskan beberapa Perguruan Tingginya dalam bidang kajian tersebut. Dukungan penuh pemerintah juga terlibat dalam bentuk regulasi standardisasi teknologi ramah lingkungan. Beberapa negara Asia Tenggara seperti Malaysia dan Singapura juga telah memiliki standardisasi pada teknologi komputasi yang ramah lingkungan tetapi belum sepenuhnya masuk dalam jenis dan jenjang

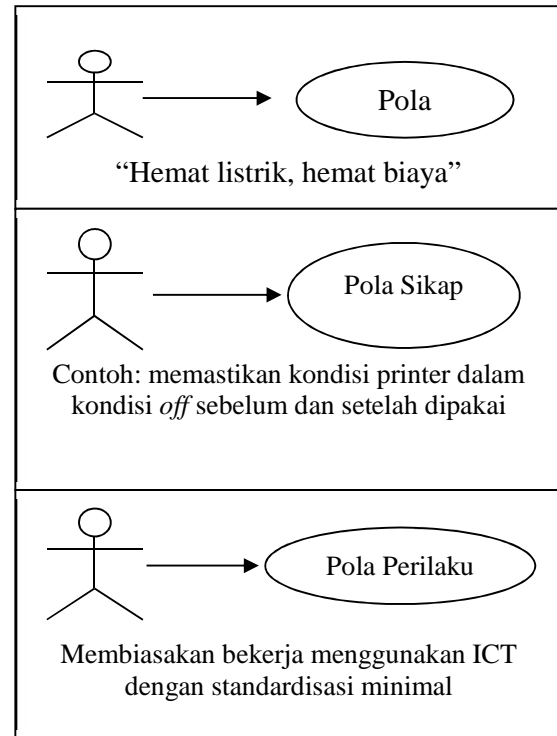
pendidikan. Tabel 1 menunjukkan negara yang telah memiliki regulasi terhadap teknologi komputasi ramah lingkungan.

Memulai membiasakan hidup dengan teknologi yang ramah lingkungan (*green computing*) dapat dimulai pada diri sendiri dengan cara tidak membiarkan kondisi komputer, printer dan periferal lainnya hidup padahal tidak digunakan, menggunakan kertas daur ulang untuk memrint, gunakan layar monitor seperlunya dan sebagainya. Inti dari *green computing* pada diri sendiri adalah penggunaan energi yang tepat guna sehingga menjadi lebih ekonomis. Hal lain yang tidak kalah menariknya juga terhadap kebutuhan akan adanya standarisasi minimal teknologi komputasi yang ramah lingkungan ditinjau air Indonesia memang sudah saatnya. Sebagai suatu negara yang memiliki jumlah penduduk terbanyak dan terluas di wilayah kawasan Asia Tenggara, serta memiliki kekayaan sumber daya alam, sangat penting untuk memikirkan dan membuat seperangkat peraturan (regulasi) sehingga dapat menghemat energi khususnya listrik. Pengaruh positif dengan adanya standarisasi teknologi komputasi yang ramah lingkungan akan membawa pola pikir, pola sikap dan pola perilaku yang sadar akan sangat pentingnya menjaga ekologi demi masa depan bersama. Tidak adanya standarisasi sistem teknologi komputasi yang ramah lingkungan akan menjadi penghambat untuk menciptakan bumi yang terbebas dari global warming.

Kerangka konsep pengembangan sumber daya manusia (SDM) dengan standarisasi minimal pada pola pikir, sikap dan perilaku komputasi yang ramah lingkungan seperti diperlihatkan oleh gambar 1.

Paradigma pergeseran pola pikir dari tidak peduli terhadap konsumsi energi listrik kepada menjadi peduli memang bukan suatu hal yang mudah dan dapat di laksanakan dengan serta merta. Di perlukan waktu dan model yang meliputi pendekatan, strategi, teknik dan taktik untuk membiasakan pola pikir tersebut berubah berangsur-angsur. Dengan motto “hemat energi, berarti hemat biaya” harus di biasakan dan di zikirkan semua umat manusia khususnya di Indonesia. Memulai diri sendiri dengan bersikap memastikan kondisi printer dalam kondisi *off* sebelum dan setelah dipakai ketika berkerja di rumah dan di kantor akan menghemat sumber daya energi listrik yang juga pasti murah

membayar tagihannya. Standardisasi minimal penggunaan ICT mutlak di terapkan dan menjadi budaya perilaku positif dalam bekerja sebagai bentuk dalam upaya sadar akan kebutuhan energi listrik yang semakin terus tumbuh besar.



Gambar 1. Kerangka konsep pengembangan SDM yang ramah lingkungan

Inovasi menuju masa depan teknologi komputasi yang ramah lingkungan merupakan pilihan yang tepat guna untuk negara yang sedang berkembang. Menciptakan sumber daya manusia yang nantinya kelak akan menjadi pemimpin perlu disiapkan sejak dini sehingga ketika berada dimana saja dan kapan saja akan selalu memikirkan, berbuat untuk menjadikan lingkungan sebagai prioritas program kerja. *Green technology* adalah kajian mengenai praktek komputasi yang ramah lingkungan komputasi atau IT. Ruang lingkup komputasi berkelanjutan termasuk produksi, penggunaan dan pembuangan komputer. Perubahan teknologi yang cepat telah mengakibatkan nafsu menciptakan produk baru ICT yang lebih kuat, yang pada gilirannya meningkatkan ancaman lingkungan karena orang membuang model lama dan membeli produk-produk baru yang lebih modern.

## 5. KESIMPULAN

Saat ini, proses komputasi bertanggung jawab atas sebagian besar konsumsi energi secara keseluruhan, yang berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca. Karena itu penting untuk mendorong dan terus mengkaji mencari teknologi ramah lingkungan yang baru di dunia komputer. *Green computing* harus dapat melibatkan semua orang karena limbahnya yang sangat besar mengancam lingkungan dan bahan beracun yang terkandung dalam produk-produk tertentu. Program lingkungan PBB memperkirakan bahwa jumlah total limbah komputer per tahun dapat mencapai puluhan juta ton yang telah memaksa semua pihak untuk mencari solusi yang efektif. Langkah-langkah dan program-program seperti memberi standarisasi minimal dalam bekerja menggunakan ICT bertujuan untuk mempromosikan efisiensi energi. Komputasi hijau hanya dapat berjalan ketika semua pihak produsen, konsumen, dunia pendidikan dan lembaga regulator bekerja sama. Membiasakan diri dan kesadaran untuk menjaga kelestarian lingkungan dan ekologi sudah harus dimulai dari saat ini dengan membawa pergeseran perubahan pola pikir, sikap dan perilaku pada keluarga, tempat tinggal dan tempat bekerja demi masa depan kita semua.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Q. Li & M. Zhou., *The Survey and Future Evolution of Green Computing*. IEEE/ACM International Conference on Green Computing and Communications. 230–233 (2011).
- [2] E. Davidson, E. Vaast, & P. Wang., *The greening of IT: How discourse informs IT sustainability innovation*. Proc. - 13th IEEE Int. Conf. Commer. Enterp. Comput. CEC 2011. 421–427 (2011).
- [3] M. Kazandjieva, B. Heller, O. Gnawali, P. Levis, and C. Kozyrakis., *Green enterprise computing data: Assumptions and realities*. Int. Green Comput. Conf. IGCC 2012. (2012).
- [4] T. Arthi & H. Shahul Hamead., *Energy aware cloud service provisioning approach for green computing environment*. Int. Conf. Energy Effic. Technol. Sustain. ICEETS. 139–144 (2013).
- [5] A. Jain, M. Mishra, S. K. Peddoju, and N. Jain., *Energy efficient computing-Green cloud computing*. Int. Conf. Energy Effic. Technol. Sustain. ICEETS. 978–982 (2013).
- [6] B. Wadhwa & A. Verma., *Energy saving approaches for Green Cloud Computing: A review*. Recent Adv. Eng. Comput. Sci. RAECS. 6–8 (2014).
- [7] L. Xu, C. Li, L. Li, Y. Liu, Z. Yang, and Y. Liu., *A virtual data center deployment model based on the green cloud computing*. IEEE/ACIS 13th Int. Conf. Comput. Inf. Sci. 235–240 (2014).
- [8] D. C. Ketankumar, G. Verma, & K. Chandrasekaran., *A Green Mechanism Design Approach to Automate Resource Procurement in Cloud*. Procedia Comput. Sci., **54**. 108–117 (2015).
- [9] H. Malik, P. Zhao, & M. Godfrey., *Going Green: An Exploratory Analysis of Energy-Related Questions*. IEEE/ACM 12th Work. Conf. Min. Softw. Repos., 418–421 (2015).
- [10] Y. S. Patel, N. Mehrotra, & S. Soner., *Green cloud computing: A review on Green IT areas for cloud computing environment*. Int. Conf. Futur. Trends Comput. Anal. Knowl. Manag. ABLAZE. 327–332 (2015).
- [11] R. Baidya & S. K. Ghosh., *Analysis of parameters for green computing approach using the analytical hierarchy process*. 7–10 (2015).
- [12] B. Kaur & A. Kaur., *An Efficient Approach for Green Cloud Computing using Genetic Algorithm*, 4–5 (2015).
- [13] G. Procaccianti, P. Lago, A. Vetro, D. M. Fernandez, and R. Wieringa., *The Green Lab: Experimentation in Software Energy Efficiency*, Proc. - Int. Conf. Softw. Eng., **2**, 941–942 (2015).
- [14] Y. E. F. M. S. Vasanthi, *Energy Efficient Mechanism for Green Computing in Wireless Storage Area Networks*, 1311–1314 (2015).
- [15] N. Bin, M. Nor, M. Hasan, and B. Selamat, *Green Data Center Frameworks and Guidelines Review*, **6**, 338–343 (2014).
- [16] J. Zalewski & N. Sybramanian, *Developing a Green Computer Science*

- Program*, Seventh Annu. IEEE Green Technol. Conf., 95–102 (2015).
- [17] K. Suryawanshi & S. Narkhede, *Green ICT for Sustainable Development: A Higher Education Perspective*, Procedia Comput. Sci., **70**, 701–707 (2015).
- [18] J. Lamb & S. K. V Marimekala, *STEM and green IT*, Emerg. Technol. a Smarter World (CEWIT), 12th Int. Conf. Expo, 1–6 (2015).
- [19] S. Singh, *Green Computing Strategies & Challenges*, **1**, 8–10 (2015).
- [20] C. Zhu, V. Leung, L. Shu, and E. Ngai, *Green Internet of Things for Smart World*, IEEE Access, 1–1 (2015).
- [21] F. K. Shaikh, S. Zeadally, and E. Exposito, *Enabling Technologies for Green Internet of Things*, IEEE Syst. J., 1–12 (2015).
- [22] Y. Zhang, W. Zhang, and Q. Ling, *To go or not to go green: An economic analysis*, 13th Int. Symp. Model. Optim. Mobile, Ad Hoc, Wirel. Networks, WiOpt., 16–22 (2015).
- [23] C. Sharma & A. Jain, *PV Based Green Computing System for ICT Sustainable Development*, Second Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Eng., 240–244 (2015).
- [24] C. Siebra, P. Costa, R. Marques, A. L. M. Santos, and F. Q. B. Silva, *Towards a green mobile development and certification*, Int. Conf. Wirel. Mob. Comput. Netw. Commun., 288–294 (2011).

### ***Biodata Penulis***

***Yahfizham***, Saat ini sebagai mahasiswa aktif pada Program Pascasarjana Pendidikan Teknologi dan Kejuruan (PTK), Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang (UNP) dan menjadi Dosen Tetap di Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Medan (UIN SU MEDAN) sejak tahun 2005 dengan bidang kajian keilmuan terapan ilmu komputer, sistem informasi, sistem pendukung keputusan, sistem pakar, dan pengembangan model pembelajaran pada TVET.