

Perancangan Algoritma Adaptif dan Probabilistik Untuk *Green Named Data Network* (GNDN) Berbasis *Virtual Machine*

1st Adri Kemal Budiman
 Fakultas Teknik Elektro
 Universitas Telkom
 Bandung, Indonesia
 adri.kemalb@gmail.com

2nd Leanna Vidya Yovita
 Fakultas Teknik Elektro
 Universitas Telkom
 Bandung, Indonesia
 leanna@telkomuniversity.ac.id

3rd Tody Ariefianto Wibowo
 Fakultas Teknik Elektro
 Universitas Telkom
 Bandung, Indonesia
 ariefianto@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — *Named Data Networking* (NDN) menawarkan pendekatan komunikasi berbasis konten yang efisien, namun konsumsi energi yang tinggi akibat *caching* yang tidak terkendali dapat menjadi tantangan dalam penerapannya. Penelitian ini mengembangkan algoritma *caching* adaptif dan probabilistik berbasis *energy-aware* untuk mendukung *Green Named Data Network* (GNDN) dengan *platform virtual machine* (VM) sebagai representasi node jaringan.

Algoritma dirancang dengan menggabungkan strategi adaptif dan probabilistik, yang mempertimbangkan tiga parameter utama: ukuran konten, frekuensi akses, dan usia konten (*age*). Mekanisme ini diwujudkan melalui perhitungan skor efektivitas (*effectiveScore*) yang menentukan prioritas penyimpanan atau penggantian konten dalam *Content Store* (CS) pada setiap node.

Implementasi dilakukan langsung pada lingkungan jaringan berbasis VM, tanpa simulator, dengan mengembangkan modul kebijakan cache *cs-policy-energy*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma ini mampu mengurangi jumlah retransmisi dan timeout dibandingkan kebijakan konvensional seperti LRU, serta menghasilkan performa transmisi data yang lebih stabil dan efisien secara energi..

Kata kunci— *Adaptive Caching*, *Efisiensi Energi*, *Energy-Aware Caching*, *Green Named Data Network*, *NDN*, *Probabilistic Caching*.

I. PENDAHULUAN

Named Data Network (NDN) merupakan arsitektur jaringan masa depan yang menggantikan paradigma komunikasi tradisional dari model *host-centric* menjadi *data-centric*. Alih-alih mengandalkan alamat IP untuk mengidentifikasi lokasi perangkat, NDN mengidentifikasi dan mengirimkan data berdasarkan nama konten yang diminta oleh pengguna [1]. Hal ini memungkinkan efisiensi lebih tinggi dalam pengiriman data karena konten dapat dikembalikan dari simpul jaringan terdekat yang menyimpan salinannya melalui *caching*.

Salah satu keunggulan utama NDN adalah kemampuannya untuk melakukan *caching* di setiap node jaringan. Hal ini memungkinkan pemrosesan *Interest* (permintaan data) secara lebih cepat karena data yang sering

diakses dapat dilayani langsung dari *Content Store* (CS) node antara, tanpa harus diteruskan ke *Producer* [1][2]. Namun, strategi *caching* yang tidak terkontrol dapat menyebabkan peningkatan konsumsi energi, khususnya pada jaringan berskala besar dan padat konten [3].

Dengan munculnya kesadaran terhadap efisiensi energi di bidang jaringan, muncul *konsep Green Networking* yang berfokus pada pengurangan konsumsi daya tanpa mengorbankan kualitas layanan. Dalam konteks NDN, hal ini mendorong pengembangan *Green Named Data Network* (GNDN), yang salah satu solusinya adalah melalui perancangan kebijakan *caching* yang hemat energi atau *energy-aware caching* [3][4].

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada perancangan algoritma *caching* adaptif dan probabilistik yang mempertimbangkan efisiensi energi. Fokus utama dari tugas ini adalah mengembangkan algoritma yang dapat secara selektif menyimpan konten berdasarkan ukuran, usia, dan frekuensi akses, dengan tujuan utama menurunkan konsumsi energi dan meningkatkan efisiensi jaringan secara keseluruhan. Implementasi dilakukan menggunakan emulasi langsung pada *virtual machine*.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Konsep *Named Data Network* (NDN)

Named Data Networking (NDN) adalah arsitektur jaringan masa depan yang mengadopsi pendekatan *data-centric*, di mana komunikasi dilakukan berdasarkan nama data, bukan alamat IP tujuan seperti pada model TCP/IP tradisional. Pendekatan ini menghilangkan ketergantungan terhadap lokasi *host* dan meningkatkan fleksibilitas serta efisiensi distribusi konten [5].

Setiap node dalam NDN memiliki tiga komponen utama: *Content Store* (CS), *Pending Interest Table* (PIT), *Forwarding Information Base* (FIB)

Arsitektur ini telah terbukti meningkatkan efisiensi jaringan dan mengurangi redundansi trafik [6], namun implementasinya dalam skala besar tetap memerlukan strategi pengelolaan sumber daya yang optimal, terutama dalam hal *caching* dan konsumsi energi.

B. Strategi *Caching* Adaptif dan Probabilistik

a) Ukuran Konten

Ukuran konten (dalam satuan KB) menjadi indikator utama dalam konsumsi energi selama penyimpanan dan transmisi ulang. Konten berukuran besar membutuhkan lebih banyak energi dan waktu, sehingga dalam algoritma ini, konten besar diberikan penalti.

Rumus perhitungan base score untuk ukuran konten:

$$\text{BaseScore} = \frac{1}{1 + \log_{10}(\text{size} / \text{KB}))} \quad (1)$$

b) Usia Konten

Usia konten dihitung dari waktu logis (misalnya berdasarkan detik atau siklus clock) sejak konten terakhir diakses. Semakin lama tidak diakses, semakin besar penalti yang dikenakan.

Rumus penalti berdasarkan usia:

$$\text{effectiveScore} = \frac{\text{BaseScore}}{\log(2 + \text{age})} \quad (2)$$

c) Popularitas

Frekuensi penggunaan atau *popularity* konten diwakili oleh jumlah cache hit. Setiap kali sebuah konten berhasil diakses dari cache (cache hit), sistem akan:.

1. Menambahkan bonus ke baseScore, sebesar +1.
2. Mengatur ulang usia (reset age) ke nol.

Efeknya adalah menjaga effectiveScore tetap tinggi untuk konten yang sering digunakan.

$$\text{BaseScore}_{\text{baru}} = \text{BaseScore}_{\text{lama}} + 1 \quad (3)$$

$$\text{effectiveScore} = \frac{\text{BaseScore}_{\text{baru}}}{\log(2 + \text{age})} = \text{BaseScore}_{\text{baru}} \quad (4)$$

III. METODE

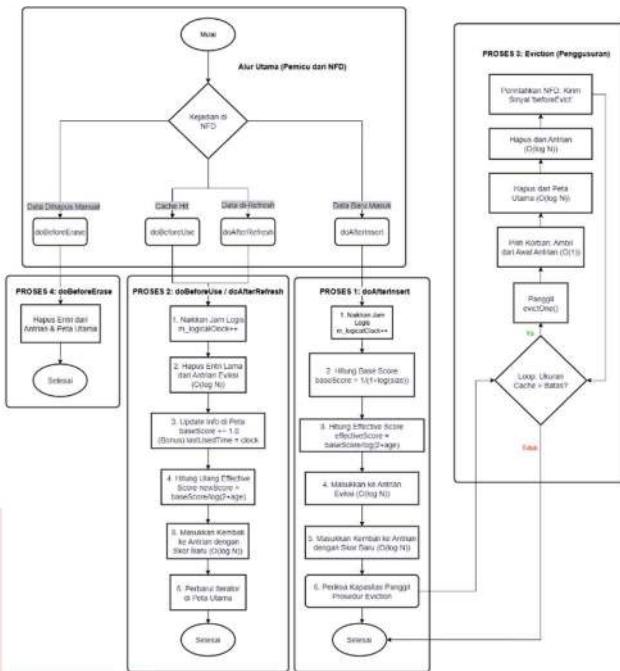
A. Desain Sistem

Penelitian ini mengembangkan algoritma caching adaptif dan probabilistik yang diberi nama *energy-aware*. Tujuan utama dari perancangan algoritma ini adalah meminimalkan konsumsi energi jaringan dengan tetap menjaga performa distribusi konten pada *Named Data Network* (NDN). Algoritma *energy-aware* memprioritaskan konten berdasarkan tiga parameter utama:

1. Ukuran konten: semakin kecil, semakin hemat energi saat ditransmisikan.
2. Usia konten: konten yang lebih baru dianggap lebih relevan.
3. Frekuensi penggunaan: konten yang sering diakses lebih layak dipertahankan.

Ketiga parameter ini digunakan untuk menghitung skor efektivitas (*effectiveScore*) sebagai acuan utama dalam pengambilan keputusan *caching*. Semakin tinggi skor, semakin besar peluang konten untuk tetap disimpan di *cache*.

B. Flowchart Sistem



GAMBAR 1
Flowchart Energy-Aware

Gambar 1 menunjukkan alur kerja algoritma adaptif dan probabilistik dalam mengelola *cache* pada jaringan *Named Data Network* (NDN). Proses dimulai saat konten masuk atau diakses ulang. Sistem menghitung nilai *baseScore* berdasarkan ukuran konten dan *effectiveScore* berdasarkan usia, lalu menentukan prioritas penyimpanan dalam antrian eviksi. Ketika cache penuh, entri dengan skor terendah akan digantikan. *Cache hit* akan meningkatkan skor konten dan *reset* usia, sehingga meningkatkan peluang konten untuk tetap dipertahankan. Proses ini berjalan adaptif dan hemat energi sesuai karakteristik tiap konten.

C. Parameter algoritma adaptif dan probabilistik

Untuk mendukung proses pengambilan keputusan yang adaptif dan hemat energi, algoritma *energy-aware* memanfaatkan tiga parameter utama dalam setiap evaluasi konten yang masuk ke dalam *cache*. Ketiga parameter ini digunakan dalam perhitungan skor efektivitas (*effectiveScore*) untuk menentukan prioritas penyimpanan maupun penggantian konten dalam *Content Store* (CS). Penjelasan masing-masing parameter ditampilkan pada Tabel 1 berikut:

TABEL 1
Parameter Algoritma Energy-Aware

Parameter	Penjelasan	Satuan
Size	Ukuran konten yang masuk ke dalam <i>Content Store</i>	KB
Age	Umur konten sejak terakhir kali diakses	cycle
Frequency	Frekuensi cache hit atau jumlah konten diakses ulang	Hit count

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil implementasi algoritma caching adaptif dan probabilistik, sebuah strategi caching adaptif dan hemat energi yang dirancang khusus untuk

jaringan *Named Data Network* (NDN). Algoritma ini dikembangkan dengan mempertimbangkan ukuran konten, usia data, dan frekuensi akses sebagai dasar pengambilan keputusan penyimpanan. Proses implementasi dilakukan langsung pada sistem *node* berbasis *virtual machine* (VM) yang mewakili skenario nyata. Hasil ini bertujuan untuk menguji efektivitas rancangan algoritma serta mengevaluasi dampak teoretnisnya terhadap efisiensi cache dan konsumsi energi.

A. Implementasi Algoritma *Energy-Aware*

Algoritma *Energy-aware* telah berhasil diimplementasikan pada sistem *Named Data Networking* (NDN) melalui modifikasi modul *cs-policy-energy*. Proses pengembangan mencakup pembuatan struktur *PolicyInfo*, fungsi penghitungan skor efektif (*effectiveScore*), dan pengaturan manajemen *cache* adaptif berdasarkan ukuran konten, usia, serta frekuensi penggunaan.

B. Mekanisme Kerja dan Efek Teoritis

Secara konseptual, algoritma *energy-aware* dikembangkan sebagai solusi cerdas untuk mengelola *cache* secara efisien dalam lingkungan jaringan *Named Data Network* (NDN). Algoritma ini mengadopsi pendekatan adaptif dan probabilistik, di mana setiap keputusan penyimpanan dan penggantian konten mempertimbangkan tiga aspek utama: ukuran konten, usia (*age*), dan tingkat popularitas berdasarkan frekuensi akses. Ketiganya digabungkan secara matematis dalam bentuk *effectiveScore*, yang menjadi acuan utama dalam mengevaluasi prioritas setiap entri dalam *cache*.

Secara teoritis, algoritma *energy-aware* dirancang untuk mencapai tiga tujuan utama. Pertama, mengurangi beban konsumsi energi dengan memberikan prioritas lebih tinggi kepada konten yang berukuran kecil dan sering diakses, karena konten jenis ini lebih efisien dalam hal transmisi dan penyimpanan. Kedua, memperpanjang usia konten di *cache* melalui mekanisme penghitungan skor yang memperhitungkan waktu bertahan konten, sehingga hanya konten relevan yang dipertahankan. Ketiga, mengurangi tingkat *cache miss* dengan cara menyesuaikan skor konten secara dinamis saat terjadi *cache hit*, sehingga konten yang aktif digunakan akan memiliki peluang lebih besar untuk tetap berada di dalam *cache*.

Melalui kombinasi prinsip adaptivitas dan probabilistik, algoritma *energy-aware* tidak hanya mampu menyesuaikan diri dengan pola permintaan konten yang berubah, tetapi juga menjaga performa jaringan secara keseluruhan dalam konteks keberlanjutan energi.

C. Simulasi Teoritis dan Harapan

Untuk meningkatkan efisiensi distribusi konten sekaligus mengurangi konsumsi energi dalam jaringan *Named Data Network* (NDN), penelitian ini mengembangkan algoritma caching adaptif dan probabilistik bernama *energy-aware*. Berbeda dengan metode LRU yang bersifat statis.

Berdasarkan rancangan tersebut, algoritma ini secara teoritis diharapkan dapat meningkatkan *cache hit rate*, karena konten yang sering diakses memiliki skor lebih tinggi. Selain itu, jumlah retransmisi dan *timeout* diprediksi menurun karena sistem lebih selektif dalam mempertahankan konten

yang relevan. Terakhir, konsumsi energi jaringan diperkirakan berkurang karena konten besar yang jarang digunakan akan lebih cepat digantikan.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan algoritma caching adaptif dan probabilistik bernama *energy-aware* pada arsitektur jaringan *Named Data Network* (NDN). Algoritma ini memanfaatkan kombinasi tiga parameter utama—ukuran konten, usia konten, dan frekuensi akses—yang dihitung dalam bentuk skor efektivitas (*effectiveScore*) sebagai dasar pengambilan keputusan penyimpanan dan penggantian konten dalam *cache*.

Secara teoritis, algoritma ini menunjukkan potensi signifikan dalam meningkatkan efisiensi jaringan, baik dari sisi pengurangan konsumsi energi, peningkatan *cache hit rate*, maupun penurunan retransmisi dan *timeout*. Pendekatan adaptif dan probabilistik memungkinkan sistem menyesuaikan strategi caching secara dinamis terhadap pola permintaan konten yang berubah, tanpa mengorbankan performa distribusi data.

Implementasi langsung di lingkungan *virtual machine* juga membuktikan bahwa algoritma dapat diterapkan di luar simulator, dengan fleksibilitas tinggi untuk pengujian nyata. Dengan demikian, hasil penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam mendukung arah pengembangan *Green Named Data Network* (GNDN) yang lebih efisien dan berkelanjutan di masa depan.

REFERENSI

- [1] L. Zhang, A. Afanasyev, J. Burke, V. Jacobson, K. C. Claffy, P. Crowley, C. Papadopoulos, L. Wang, and B. Zhang, “Named Data Networking,” ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 44, no. 3, pp. 66–73, 2014. doi: 10.1145/2656877.2656887
- [2] J. Burke, P. Gasti, N. Nathan, and G. Tsudik, “Securing Instrumented Environments over Content-Centric Networking: The Case of Lighting Control,” in Proc. IEEE INFOCOM, 2013, pp. 394–398. doi: 10.1109/INFCOM.2013.6566783
- [3] A. Papenfuß, T. Grube, and M. Rechert, “Green Named Data Networking: The Case for Energy-Efficient Caching in Future Networks,” in Proc. IEEE CCNC, 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/CCNC.2018.8319174
- [4] Y. Li, Y. Zhang, and J. Guo, “Energy-Aware Routing in Named Data Networking,” in Proc. IEEE ICC, 2015, pp. 5768–5773. doi: 10.1109/ICC.2015.7249262
- [5] E. Baccelli, C. Mehlis, O. Hahm, T. C. Schmidt, and M. Wählisch, “Information Centric Networking in the IoT: Experiments with NDN in the Wild,” in Proc. ACM ICN, 2014, pp. 77–86. doi: 10.1145/2660129.2660144

- [6] A. Afanasyev, I. Moiseenko, and L. Zhang, “ndnSIM: NDN Simulator for NS-3,” NDN Technical Report NDN-0005, 2012. [Online]. Available: <https://named-data.net/publications/techreports/ndn-0005-1-ndnsim/>

