

Implementasi 5G Core Network Pada Bare Metal Server

5G Core Network Implementation on Bare Metal Server

Galura Muhammad Suranegara ^{1*}, Endah Setyowati ², Ahmad Fauzi³, Diky Zakaria⁴

^{1,2,3,4}Universitas Pendidikan Indonesia

^{1,2,3,4}Jl. Dr. Setiabudi No.229, Isola, Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40154

galurams@upi.edu^{1*}, endahsetyowati@upi.edu², ahmad.fauzi@upi.edu³, dikyzak@upi.edu⁴

Abstrak – 5G Core (5GC) Network merupakan salah satu teknologi utama pada teknologi seluler generasi ke-5. Perubahan besar yang terjadi pada 5GC adalah perubahan dari arsitektur monolithic menjadi arsitektur yang modular dan aksesnya dibuka untuk umum. Hal ini merubah pengembangan 5GC menjadi lebih baik. Beberapa penelitian yang sudah dilakukan masih menggunakan 5GC non-standalone yang ditandai dengan hadirnya Evolved Packet Core (EPC) dalam implementasinya. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan arsitektur 5GC standalone yang didefinisikan oleh 3GPP release 15 pada baremetal server. Kemudian 5GC diintegrasikan dengan User Equipment (UE) dan Radio Access Network (RAN). Percobaan ini menggunakan metode penelitian yang mencakup instalasi dan konfigurasi source code Free5GC, integrasi dengan simulator UERANSIM, serta pengujian performa menggunakan metrik bandwidth, throughput, dan round-trip time (RTT). Setelah dilakukan pengukuran performa menggunakan beberapa metrik pengukuran dari 5GC yang telah dibangun dapat disimpulkan bahwa 5GC yang dibangun berhasil diimplementasikan dan berfungsi dengan baik dalam mendukung konektivitas data. Pengujian performa mencatat bandwidth rata-rata sebesar 3,5 Gbps, throughput rata-rata 21,04 Mbps untuk unduh dan 19,125 Mbps untuk unggah, serta RTT rata-rata 21,229 ms. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan jaringan 5G yang terbuka dan dapat diandalkan, terutama pada aspek konektivitas data.

Kata Kunci: 5G, 5GC, Free5GC

Abstract – 5G Core (5GC) Network is a key technology in fifth-generation cellular systems. One of the significant advancements in 5GC is the shift from a monolithic to a modular architecture with open access, enabling better development of the technology. However, many existing studies still focus on non-standalone 5GC, which includes the Evolved Packet Core (EPC) in its implementation. This study aims to implement a standalone 5GC architecture, as defined by 3GPP Release 15, on a bare metal server. The implementation integrates 5GC with User Equipment (UE) and Radio Access Network (RAN). The research methodology involves installing and configuring the Free5GC source code, integrating it with the UERANSIM simulator, and evaluating its performance using metrics such as bandwidth, throughput, and round-trip time (RTT). Results show that the implemented 5GC operates successfully and effectively supports data connectivity. The performance tests recorded an average bandwidth of 3.5 Gbps, a download throughput of 21.04 Mbps, an upload throughput of 19.125 Mbps, and an average RTT of 21.229 ms. This study contributes significantly to the advancement of open, flexible, and reliable 5G networks, particularly in enhancing data connectivity performance.

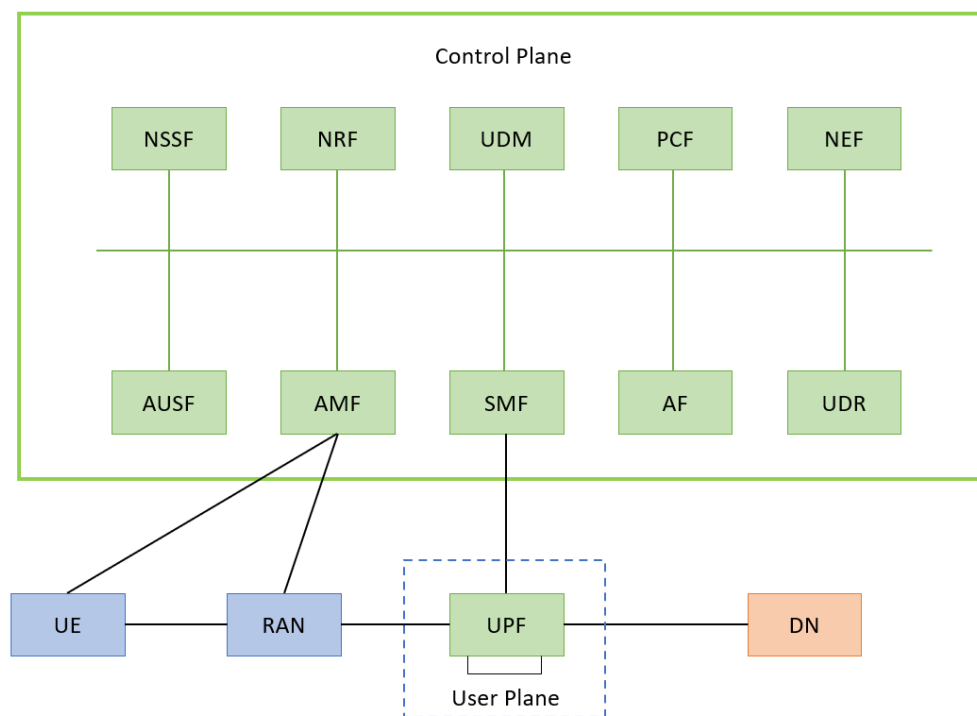
Keywords: 5G, 5GC, Free5GC

1. Pendahuluan

Sejak tahun 2020, teknologi generasi kelima (5G) sudah mulai dikomersialisasikan. Hadirnya teknologi 5G tersebut memiliki potensi yang kuat untuk menghadirkan layanan baru yang belum pernah ada sebelumnya. Aplikasi seperti *virtual reality*, *telesurgery*, *high resolution video streaming* dan lainnya diharapkan akan dapat terealisasi [1]. Maka dari itu pengembangan teknologi pada perangkat keras maupun perangkat lunak pada ekosistem 5G harus terus dikembangkan.

Untuk mencapai visi 5G tentunya masih terdapat beberapa tantangan dalam riset dan pengembangan. Infrastruktur pada jaringan seluler tradisional masih berkarakter *monolithic* sehingga sulit untuk dapat memenuhi kebutuhan heterogenitas dan variabilitas dari skenario 5G beserta kebutuhan khusus setiap aplikasinya [2]. Kalangan akademisi maupun industri telah sepakat bahwa pendekatan *plug-and play* pada jaringan tradisional harus diubah dalam rangka menghadapi realisasi sistem 5G menjadi pendekatan baru yang lebih cepat, lebih terbuka dalam penyebaran, kontrol dan manajemen jaringannya. Maka dari itu solusi jaringan yang dapat diprogram dan memiliki *source code* yang terbuka untuk kalangan luas harus ada juga ada di dalam jaringan seluler [3],[4], termasuk 5G Core (5GC).

Penelitian ini memiliki tujuan utama untuk mengimplementasikan 5GC pada *bare metal server*. Terdapat beberapa proyek *opensource* yang dapat digunakan untuk membangun 5GC namun setelah diamati lebih mendalam, beberapa masih menggunakan konfigurasi *standalone* dengan ciri penggunaan *Evolved Packet Core* (EPC) sebagai core nya. Maka dari itu penelitian ini menggunakan *standalone* 5GC network [5],[6]. Arsitektur 5GC yang digunakan pada penelitian ini adalah arsitektur yang didefinisikan oleh 3GPP release 15 [7]. Ilustrasi dari arsitektur 5GC yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Arsitektur 5G Core.

Sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1, arsitektur tersebut sudah menyediakan seluruh *network function* (NF) dari 5G yang terbagi menjadi *control plane* dan *user plane*. NF yang tergolong kepada *control plane* adalah *Network Slice Selection Function* (NSSF), *Network Repository Function* (NRF), *Unified Data Management* (UDM), *Policy Control Function* (PCF),

Network Exposure Function (NEF), *Authentication Server Function* (AUSF), *Access and Mobility Management Function* (AMF), *Session Management Function* (SMF), *Unified Data Repository* (UDR) dan *Application Function* (AF). Sedangkan NF yang tergolong pada *user plane* hanya *User Plane Function* (UPF) saja. *User Equipment* (UE), *Radio Access Network* (RAN) dan *Data Network* (DN) tidak termasuk ke dalam arsitektur 5GC.

NSSF berfungsi untuk menyediakan *network slice* dan membantu memilihkan *network slice* yang sesuai untuk AMF. NRF berfungsi untuk menyediakan fungsi registrasi dari seluruh NF dan merekam seluruh IP dari NF. UDM bertanggung jawab untuk pusat manajemen data dan mengatur UDR. UDR adalah *database* yang menyimpan seluruh informasi mengenai UE. PCF berfungsi untuk menyediakan kebijakan dan aturan untuk control plane. NEF berfungsi untuk memfasilitasi akses kepada *developer* secara aman dan handal atas seluruh layanan jaringan dan kapabilitasnya. AUSF berfungsi untuk autentikasi dan authorisasi. AMF berguna untuk mengatur connection request dari user baru. Ketika terdapat UE baru yang ingin mendaftarkan dirinya ke jaringan inti maka UE akan mengirimkan *request* ke AMF. SMD berfungsi untuk mengatur sesi antara UPF dan AN. AF adalah fungsi aplikasi pada 5G. UPF bertanggung jawab untuk melakukan *forwarding* paket [8].

Seluruh NF tersebut digunakan dan terlebih dahulu harus dikonfigurasi agar dapat terhubung menjadi satu kesatuan 5GC. Implementasi 5GC dilakukan menggunakan *source code free5gc* dengan beberapa modifikasi pada beberapa NF dan pada alur routingnya.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan metode implementasi dan pengujian kinerja pada infrastruktur jaringan 5G Core (5GC) *standalone*. Metode ini melibatkan pengembangan sistem berdasarkan arsitektur yang didefinisikan oleh 3GPP Release 15 serta pengukuran performa untuk menilai keberhasilan implementasi. Gambar 2 menunjukkan alur penelitian yang digunakan pada penelitian ini. Langkah pertama dari metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan studi pustaka mengenai implementasi 5G yang sudah pernah dilakukan sebelumnya. Tujuannya adalah untuk mengetahui gap penelitian dan tujuan dari penelitian yang dilakukan. Hal ini sudah dijelaskan pada bagian pendahuluan. Kemudian, *source code free5gc* dan seluruh perangkat lunak pendukungnya digunakan untuk membangun 5GC lalu di implementasikan pada bare metal server. Setelah itu dilakukan konfigurasi pada NF 5GC yang sudah diinstalasikan. Langkah selanjutnya adalah melakukan instalasi dan konfigurasi UERANSIM kemudian mengintegrasikannya dengan 5GC yang sudah dibangun. Langkah terakhirnya adalah melakukan pengukuran performa dari 5GC menggunakan beberapa metrik parameter pengukuran.



Gambar 2. Diagram alur penelitian.

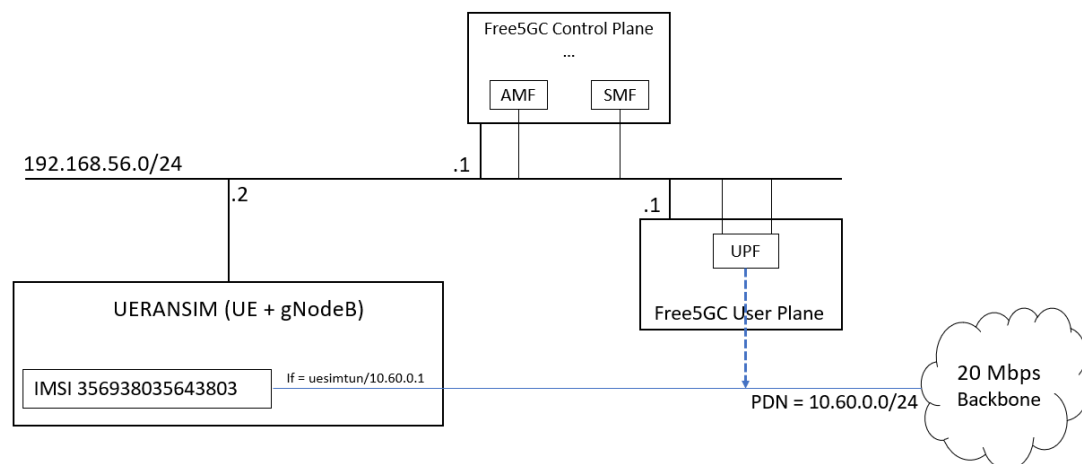
2.1. Implementasi Penelitian

Infrastruktur 5G dapat diimplementasikan menggunakan minimalnya tiga buah unsur yaitu 5GC, RAN dan UE. 5G merupakan bagian inti dari infrastruktur 5G yang menyediakan fungsi-fungsi *core* dalam telekomunikasi seluler generasi ke 5. RAN merupakan bagian yang menyediakan konektivitas antara UE dengan 5GC. UE adalah perangkat yang digunakan oleh pengguna layanan 5G misalnya *smartphone*.

Mengimplementasikan keseluruhan infrastruktur 5G menggunakan tempat pengujian dan perangkat keras asli akan sangat mahal. Maka dari itu, agar dapat melakukan penelitian di bidang 5G, penggunaan simulator dan emulator adalah pilihan yang tepat [9]. Beberapa emulator 5GC yang dapat digunakan adalah Magma, Open5GS, Free5GC [10]. Penelitian ini menggunakan Free5GC karena menggunakan arsitektur 5G *standalone*. Arsitektur 5GC yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.

Pada penelitian ini 5GC dan UERANSIM diimplementasikan menggunakan *virtual machine* (VM) yang terpisah. Masing-masing VM diberikan dua buah *network interface card* (NIC). Alamat IP untuk interface kedua 5GC adalah 192.168.56.101 sedangkan alamat IP untuk UERANSIM adalah 192.168.56.102. Kemudian penyesuaian untuk setiap NF dilakukan berdasarkan kedua alamat IP tersebut. Setelah diintegrasikan dengan 5GC maka *interface* pada VM UERANSIM akan bertambah yaitu *uesimtun*.

Pada penelitian ini, *uesimtun0* adalah *interface* yang digunakan oleh UE untuk berkomunikasi melalui internet dengan *backbone* 20 Mbps. Alamat IP yang digunakan oleh *uesimtun0* adalah 10.60.0.1. Setelah konektivitas dari interface tersebut tercapai, maka seluruh *interface* lain dimatikan dengan tujuan pengukuran hanya menggunakan *interface* *uesimtun0* saja, yang berarti konektivitas yang diuji dan diukur hanyalah konektivitas dari UE. Pengukuran performa yang dilakukan adalah dengan mengukur konektivitas dari UE dengan 5GC dan Internet *backbone*.



Gambar 3. Arsitektur 5GC.

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini memaparkan hasil dan pembahasan dari performa UE dengan 5GC yang telah dibangun. Beberapa parameter performansi yang digunakan adalah *bandwidth*, *throughput* dan *round trip time*. Perangkat *benchmarking* yang digunakan adalah ping, iperf dan speedtest.

```
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 128 KByte (default)
-----

Client connecting to 192.168.56.102, TCP port 5001
TCP window size: 2.19 MByte (default)
-----

[ 5] local 192.168.56.101 port 43342 connected with 192.168.56.102 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 5] 0.0-10.0 sec  4.60 GBytes 3.95 Gbits/sec
[ 4] local 192.168.56.101 port 5001 connected with 192.168.56.102 port 46932
[ 4] 0.0-10.0 sec  4.03 GBytes 3.46 Gbits/sec
```

Gambar 4. Hasil Tes Konektivitas UE dengan 5GC.

Gambar 4 menunjukkan hasil uji konektivitas *bidirectional* antara UE dengan 5GC. Pada kasus ini, UE terhubung dengan TCP port 5001 melalui alamat IP 192.168.56.101 dan 192.168.56.102. Ukuran TCP window *default* yang digunakan adalah 128 KB dan 2,19 MB. Hasil pengujian menunjukkan interval antara UE dengan 5GC, *transfer rate* dan bandwidthnya.

Uji konektivitas antara UE dengan Internet *backbone* sebetulnya dapat dilakukan dengan server manapun. Beberapa server terbaik dan terdekat yang dapat diidentifikasi dapat dilihat pada gambar 5. Namun setelah dilakukan beberapa kali uji coba, dipilihlah server yang paling stabil. Pada saat pengujian dilakukan, server yang paling stabil adalah server PT. Super Media Indonesia dengan ISP PT. Indonesia Comnets Plus. Maka dari itu seluruh pengujian antara UE dengan Internet *backbone* dilakukan dengan server tersebut.

Closest servers:

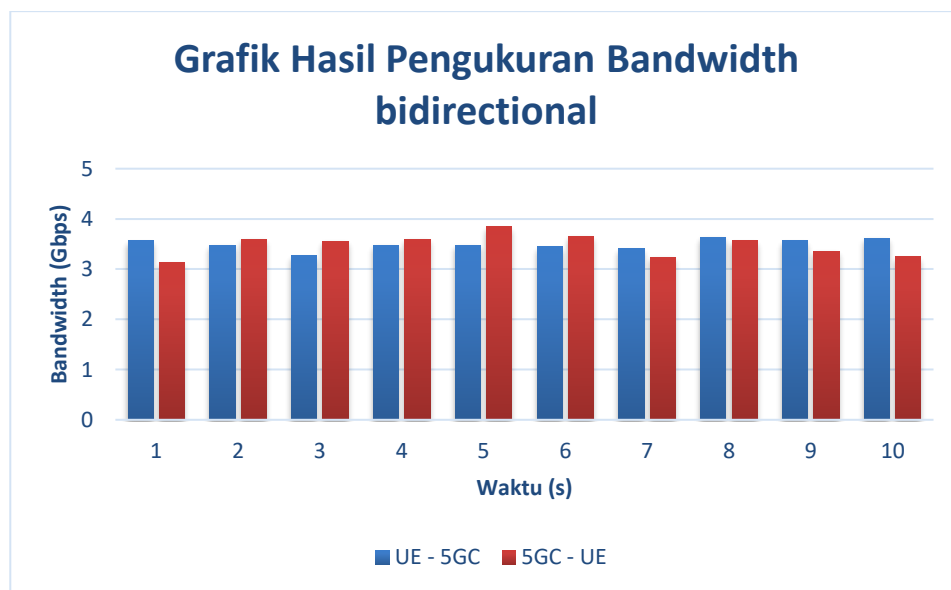
ID	Name	Location	Country
45520	ADI	Depok	Indonesia
47618	PT Myarsyila Indonesia Interkoneksi Depok	Depok	Indonesia
48518	PT. Super Media Indonesia	Depok	Indonesia
52896	HARMONIKA ID	Depok	Indonesia
52978	ACONG-CELL	Depok	Indonesia
14276	Hutchison 3 Indonesia - CGK-PK	Sentul	Indonesia
11118	MyRepublic Indonesia	South Jakarta	Indonesia
46898	PT MAXINDO CONTENT SOLUTION	Jakarta Selatan	Indonesia
41718	PT. Tujuh Media Angkasa	Jakarta Selatan	Indonesia
43496	Sandya Networks	Jakarta Selatan	Indonesia

Gambar 5. Daftar Server

3.1. Bandwidth

Free5GC adalah 5GC yang bersifat *Open-source* dan iperf digunakan untuk mengirimkan trafik data TCP secara *bidirectional* dengan tujuan mengevaluasi performa *bandwidth* dari 5GC yang telah dibangun.

Karena menggunakan trafik TCP, maka *node* sumber akan meminta paket TCP SYN ke *node* tujuan untuk membangun hubungan antara UE dengan 5GC terlebih dahulu. TCP kemudian melakukan pengecekan jumlah paket yang dikirimkan ke tujuan melalui nomor proses yang berbeda. Perintah iperf dieksekusi untuk dua arah masing-masing selama 10 detik. Grafik hasil dari pengukuran bandwidth *bidirectional* ini dapat dilihat pada gambar 6.

Gambar 6. Grafik hasil pengukuran bandwidth *bidirectional*.

Tabel 1 menunjukkan bandwidth dari UE ke 5GC dan sebaliknya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai bandwidth tertinggi dari UE ke 5GC adalah 3,64 Gbps sedangkan dari 5GC ke UE bandwidth tertingginya adalah 3,85 Gbps. Untuk bandwidth rata-rata didapatkan hasil sebesar 3,5 Gbps.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Bandwidth *bidirectional*

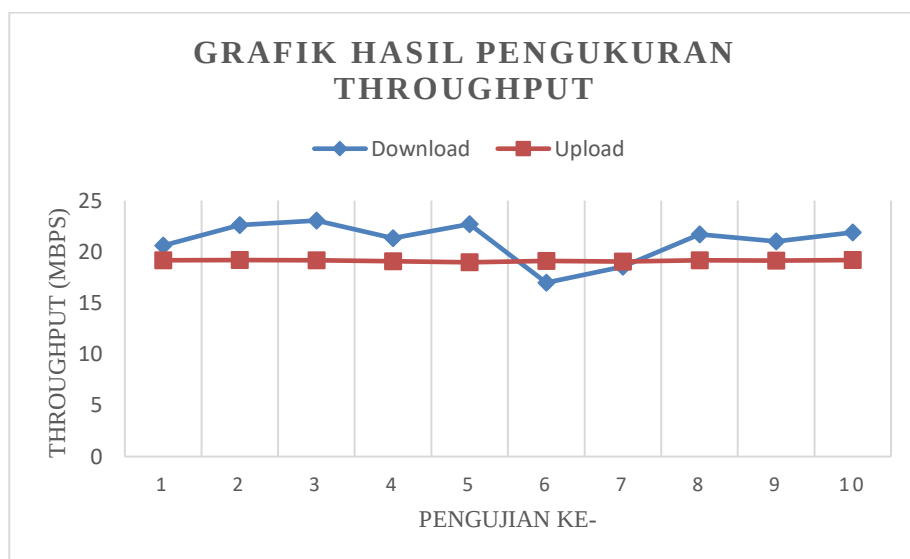
Waktu (s)	UE – 5GC (Gbps)	5GC – UE (Gbps)
1	3,57	3,13
2	3,48	3,60
3	3,27	3,56
4	3,48	3,60
5	3,48	3,85
6	3,45	3,66
7	3,42	3,24
8	3,64	3,58
9	3,57	3,36
10	3,62	3,26

3.2. Throughput

Throughput merepresentasikan jumlah trafik data maksimum yang diproses antara dua node jaringan pada satu satuan waktu (detik). Tool yang digunakan untuk melakukan pengukuran *throughput* pada penelitian ini adalah Speedtest. Pengukuran dilakukan dari UE ke server PT. Super Media Indonesia sebanyak 10 kali untuk masing-masing pengukuran. Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada tabel 2 dan gambar 3.

Tabel 2. Hasil Pengukuran *Throughput*

Pengujian Ke-	Download (Mbps)	Upload (Mbps)
1	20,60	19,18
2	22,60	19,19
3	23,05	19,18
4	21,34	19,09
5	22,71	18,97
6	16,98	19,11
7	18,53	19,03
8	21,69	19,17
9	21,02	19,14
10	21,88	19,19

Gambar 7. Grafik hasil pengukuran *throughput*.

Tabel 2 menunjukkan *throughput* tertinggi dan terendah dalam Mbps. Yaitu pada saat pengujian download ke 5 dan ke 6 dengan 22,71 Mbps dan 16,98 Mbps. Rata-rata hasil pengukuran download adalah 21,04 Mbps dan upload adalah 19,125 Mbps.

3.3. Round-Trip Time

Round trip time (RTT) atau dikenal juga dengan tes ping, adalah total waktu yang diperlukan oleh paket untuk tiba dari UE sumber ke server tujuan yang spesifik dan mengirimkan kembali paket *acknowledgement* ke UE sumber. Ping menggunakan protokol *Internet Control Message Protocol* (ICMP). Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran *round trip time* yang didapatkan.

Tabel 3. Hasil pengukuran round trip time.

Pengujian Ke-	Min (ms)
1	25,8
2	19,9
3	20,7
4	20,5
5	21,0
6	20,8
7	21,0
8	20,9
9	20,8
10	21,0

Nilai RTT minimum yang didapatkan dari hasil pengukuran menggunakan 5GC yang telah dibangun adalah 19,856 ms, nilai RTT maksimum yang didapatkan adalah 25,765 ms dan nilai RTT rata-rata yang didapatkan adalah 21,229 ms. Total jumlah paket yang dikirimkan dan diterima adalah sejumlah 10 paket dengan waktu transmisi selama 9019 ms.

4. Kesimpulan

Penelitian ini sudah berhasil melakukan implementasi dari 5GC dan mengintegrasikannya dengan UE dan RAN pada baremetal server. 5GC merupakan komponen utama dari jaringan seluler generasi ke 5. Penelitian ini juga telah berhasil mengimplementasikan arsitektur 5GC *standalone* sesuai dengan 3GPP *release* 15 dan sudah dapat difungsikan dengan baik terutama pada bagian konektivitas data. Pekerjaan yang sudah dilakukan pada penelitian ini dapat digunakan untuk melakukan berbagai pekerjaan jaringan lanjutan dengan analisis trafik lain yang lebih mendalam.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Pendidikan Indonesia yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini. Ucapan terima kasih juga peneliti sampaikan kepada seluruh pihak pengembang dan kontributor yang bersedia membuka sumbernya untuk umum sehingga dapat dimanfaatkan pada penelitian ini.

Referensi

- [1] F. Boccardi, R. W. Heath, A. Lozano, T. L. Marzetta, and P. Popovski, "Five disruptive technology directions for 5G," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 2, pp. 74–80, Feb. 2014.

- [2] D. Martín-Sacristán, J. F. Monserrat, J. Cabrejas-Penuelas, D. Calabuig, S. Garrigas, and N. Cardona, "On The Way Towards Fourth-Generation Mobile: 3GPP LTE and LTE-Advanced," *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2009, no. 1, pp. 1–11, 2009.
- [3] J. Haavisto, M. Arif, L. Lovén, T. Leppänen, and J. Riekk, "Open-source RANs in practice: An over-the-air deployment for 5G MEC," in *Proc. IEEE European Conf. on Networks and Communications (EuCNC)*, Valencia, Spain, 2019, pp. 1–5.
- [4] P. Berde et al., "ONOS: Towards an Open, Distributed SDN OS," in *Proc. ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Software Defined Networking (HotSDN)*, Chicago, IL, USA, 2014, pp. 1–6.
- [5] T. Kim et al., "An Implementation Study of Network Data Analytic Function in 5G," in *Proc. 2022 IEEE Int. Conf. on Consumer Electronics (ICCE)*, Las Vegas, NV, USA, Jan. 2022, pp. 1–3.
- [6] Free5GC Project. [Online]. Available: <https://www.free5gc.org/>. [Accessed: Nov. 21, 2024]
- [7] ETSI, 5G; System Architecture for the 5G System (5GS) (3GPP TS 23.501 Version 15.13.0 Release 15), 2022. [Online]. Available: <https://www.etsi.org>. [Accessed: Nov. 21, 2024].
- [8] Y. H. Chai and F. J. Lin, "Evaluating Dedicated Slices of Different Configurations in 5G core," *Journal of Computer and Communications*, vol. 9, no. 7, pp. 55–72, 2021.
- [9] X. Hou, M. Wu, and M. Zhao, "An Optimization Routing Algorithm Based on Segment Routing in Software-Defined Networks," *Sensors*, vol. 19, no. 1, pp. 1–15, 2018.
- [10] F. J. D. S. Neto, E. Amatucci, N. A. Nassif, and P. A. M. Farias, "Analysis for Comparison of Framework For 5G Core Implementation," in *Proc. 2021 Int. Conf. on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)*, Tashkent, Uzbekistan, Nov. 2021, pp. 1–5.