

Studi Algoritma Penjadwalan *Proportional Fair* dan *Round Robin* Pada Jaringan 5G

Tugas Akhir

diajukan untuk memenuhi salah satu syarat

memperoleh gelar sarjana

dari Program Studi Informatika

Fakultas Informatika

Universitas Telkom

1301184011

Windu Firmansyach



Program Studi Sarjana Informatika

Fakultas Informatika

Universitas Telkom

Bandung

2024

LEMBAR PENGESAHAN

Studi Algoritma Penjadwalan *Proportional Fair* dan *Round Robin* Pada Jaringan 5G

Study of *Proportional Fair* and *Round Robin* Scheduling Algorithms in 5G Network

NIM : 1301184011

WINDU FIRMANSYACH

Tugas akhir ini telah diterima dan disahkan untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh gelar pada Program Studi Sarjana Informatika

Fakultas Informatika

Universitas Telkom

Bandung, 08 Juni 2024

Menyetujui

Pembimbing I,

Siti Amatullah Karimah, S.T., M.T.
NIP : 17900086-1

Pembimbing II,

Dr. Setyorini, S.T., M.T.
NIP : 0176040

Ketua Program Studi
Sarjana Informatika,

Dr. Erwin Budi Setiawan, S.Si., M.Kom
NIP : 00760045

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya, Windu Firmansyach, menyatakan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir saya dengan judul “Studi Algoritma Penjadwalan *Proportional Fair* dan *Round Robin* Pada Jaringan 5G” beserta dengan seluruh isinya adalah merupakan hasil karya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Saya siap menanggung resiko/sanksi yang diberikan jika di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam buku TA atau jika ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya,

Bandung, 08 Juni 2024

Yang Menyatakan



Windu Firmansyach

Studi Algoritma Penjadwalan *Proportional Fair* dan *Round Robin* Pada Jaringan 5G

Windu Firmansyach¹, Siti Amatullah K², Setyorini³

^{1,2,3}Fakultas Informatika, Universitas Telkom, Bandung

¹windufirmansyach@students.telkomuniversity.ac.id, ²karimahsiti@telkomuniversity.ac.id,

³setyorini@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Seiring dengan perkembangan teknologi, penggunaan jaringan menjadi sebuah kebutuhan masyarakat. Jaringan telah melalui banyak evolusi sampai pada saat ini jaringan generasi ke 5. 5G adalah jaringan generasi baru hasil pengembangan dari generasi sebelumnya yang saat ini masih banyak digunakan, yaitu 4G LTE. Jaringan 5G diklaim 20 kali lebih cepat dibandingkan dengan jaringan sebelumnya. Jaringan ini memang belum banyak digunakan oleh masyarakat namun sudah ada. Seperti jaringan-jaringan generasi sebelumnya, jaringan 5G juga dibantu algoritma penjadwalan untuk mengefesiesikan serta mengatur sumber daya dan alokasi penggunaan serta proses nya berbeda-beda. Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan hasil simulasi algoritma penjadwalan *proportional fair* dan *round robin* yang akan disimulasikan dengan menggunakan *tools 5G air simulator* dengan menggunakan dua skenario pengujian, yaitu pengujian terhadap perubahan jumlah *user* serta pengujian terhadap perubahan kecepatan. Hasil yang diperoleh dari kedua skenario menunjukkan bahwa kedua algoritma *schedulling* menghasilkan *packet loss ratio* yang tinggi, namun *proportional fair* memperoleh *packet loss ratio* lebih tinggi dibandingkan dengan *round robin* . Sedangkan untuk hasil pengujian *goodput* dari *proportional fair* lebih seimbang dibandingkan hasil *round robin* , akan tetapi nilai *goodput* pada *round robin* relatif tinggi dibandingkan dengan *proportional fair* .

Kata kunci : *Tools 5G air simulator* , *schedulling*, *proportional fair* , *round robin* , *packet loss ratio*, *goodput*

Abstract

Along with technological developments, the use of networks has become a necessity for society. The network has gone through many evolutions until now it is the 5th generation network. 5G is a new generation network resulting from the development of the previous generation which is currently still widely used, namely 4G LTE. The 5G network is claimed to be 20 times faster than the previous network. This network is not yet widely used by the public, but it already exists. Like previous generation networks, the 5G network is also assisted by *Schedulling* algorithms to be efficient and manage resources and usage allocation as well as different processes. In this research, a comparison will be made of the simulation results of the *proportional fair* and *round robin schedulling* algorithms which will be simulated using the *5G air simulator* tool using two test scenarios, namely testing changes in the number of users and testing changes in speed. The results obtained from both scenarios show that both *schedulling* algorithms produce a high *packet loss ratio*, but *proportional fair* obtains a higher *packet loss ratio* compared to *round robin* . Meanwhile, the *goodput* test results from *proportional fair* are more balanced than the *round robin* results, but the *goodput* value in *round robin* is relatively high compared to *proportional fair* .

Keywords: *Tools 5G air simulator* , *schedulling*, *proportional fair* , *round robin* , *packet loss ratio*, *goodput*

1. Pendahuluan

Latar Belakang

Perkembangan teknologi komunikasi menjadi salah satu hal penting bagi masyarakat, seiring dengan semakin canggih perangkat seluler yang digunakan maka jaringan juga ikut berevolusi serta penggunaan masyarakat untuk melakukan *streaming video*, *telemedicine*, bermain game dan penggunaan aktivitas belajar dan mengajar. dengan kebutuhan masyarakat yang beragam ini menjadi tantangan untuk penyedia layanan untuk menunjang penggunaan masyarakat dengan memberikan kualitas layanan yang cepat dan *low latency*.

Dengan hadirnya jaringan generasi ke lima (5G) ini akan menjadi tantangan untuk penyedia layanan untuk memberikan jangkauan yang luas, kapasitas yang besar, dan kualitas layanan yang memumpuni. 5G adalah jaringan generasi baru hasil pengembangan dari generasi sebelumnya yang juga masih banyak digunakan saat ini yaitu *4G LTE (Long Term Evolution)*, jaringan 5G di klaim 20 kali lebih cepat dibandingkan jaringan sebelumnya [1]. Selain itu, Tren evolusi yang terjadi di jaringan 5G sangat penting bagi teknologi komunikasi karena menyediakan keandalan dan fleksibilitas unruk *service delay-critical* [2]. Dalam pengembangan jaringan 5G ini terjadi perubahan drastis dari cara jaringan untuk menyediakan kecepatan data yang tinggi kepada

masyarakat, seperti komponen yang digunakan, sumber daya fisik serta algoritma penjadwalan yang tidak dapat disangkal merupakan salah satu aspek kunci yang dipertimbangkan untuk penggunaan spektrum yang efisien [3].

Algoritma penjadwalan atau *scheduling* ini bertujuan untuk memaksimalkan *throughput* dan *fairness index* dalam komunikasi pengiriman paket data dan *scheduling* berperan dalam mengalokasikan blok sumber daya untuk transmisi di antara pengguna dengan berbagai jenis [4]. Untuk menjamin kualitas layanan aplikasi di bawah perubahan dinamis dalam *bandwidth*, *large-delay*, mobilitas kecepatan tinggi, dan faktor lain dalam arsitektur jaringan komunikasi, algoritma penjadwalan harus diusulkan dan diterapkan [5].

Dalam penggunaan algoritma penjadwalan dalam jaringan untuk komunikasi pengiriman *packet* memiliki proses eksekusi yang berbeda beda, seperti penjadwalan *proportional fair*, penjadwalan ini adalah penjadwalan yang mengatur alokasi sumber daya secara adil, penjadwalan ini juga mempertimbangkan dua hal dari sumber daya yaitu *throughput* dan *fairness index*[6], selain penjadwalan *proportional fair* ada juga, penjadwalan *round robin* yang merupakan penjadwalan yang dapat dikatakan terstruktur, proses eksekusi yang dilakukan dimulai dari barisan paling awal antrian [7]. keduanya merupakan algoritma yang unik karena proses eksekusi dilakukan secara adil terhadap setiap prosesnya, dan yang satu lagi proses eksekusi dilakukan secara terstruktur namun setiap proses diberikan waktu secara adil dengan waktu yang sama setiap proses nya juga memiliki fungsi yang berbeda terhadap kinerja jaringan 5G.

Topik dan Batasannya

Penelitian ini berfokus pada fokus masalah dan penelitan hanya pada algoritma penjadwalan *proportional fair* dan *round robin* dengan menggunakan *tools 5g air simulator* dan fokus pada *qos packet loss ratio* dan *goodput*. Batasan penelitian yaitu proses penjadwalan yang dilakukan adalah penjadwalan arah downlink agar berfokus terhadap penggunaan user untuk *streaming video*, *telemedicine*, bermain *game* dan penggunaan untuk aktivitas bejalan dan mengajar.

Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja algoritma penjadwalan *proportional fair* dan *round robin* pada jaringan 5G dengan skenario perubahan jumlah *user* dan perubahan kecepatan terhadap *packet loss ratio* dan *goodput* untuk mensimulasikan algoritma yang lebih optimal dan efisien dalam berbagai kondisi jaringan. Serta untuk menganalisis kinerja algoritma *proportional fair* dan *round robin* pada jaringan 5G dengan parameter yang dianalisis adalah *packet loss ratio* dan *goodput*.

Organisasi Tulisan

Penulisan dimulai dengan melakukan tinjauan literatur yang mencakup berbagai topik. Selanjutnya, metodologi yang digunakan dalam penelitian ini akan dijelaskan. Pada tahap berikutnya, hasil penelitian akan dievaluasi dan dibahas. Terakhir, kesimpulan dan saran akan disampaikan.

2. Studi Terkait

2.1. Penelitian Terkait

Pada Bab II ini, penulis melakukan studi terkait yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan, Studi Terkait dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut

Tabel 2.1 Studi Terkait

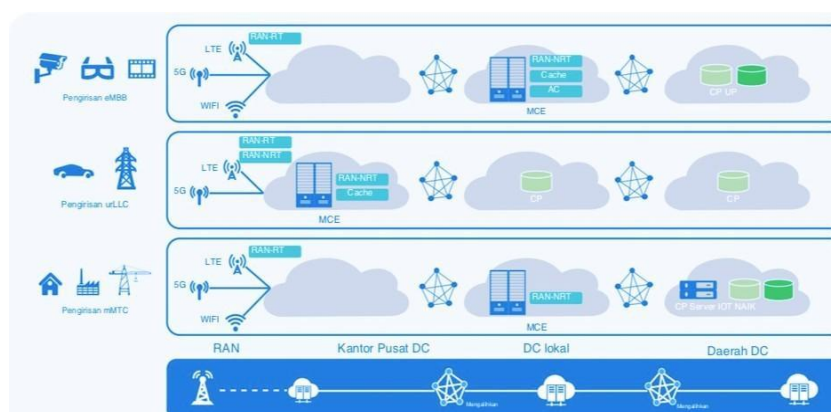
No.	Judul Penelitian	Objektif	Metode & Hasil	Perbedaan dengan TA yang Diangkat
1	<i>A flexible scheduling algorithm for the 5th-generation networks. Intelligent and Converged Networks (2020) [5]</i>	Dalam penelitian ini, penulis bertujuan untuk mengeksplorasi cara meningkatkan throughput dalam jaringan 5G dan mengusulkan skema penjadwalan yang baru berdasarkan analisis dari algoritma Round Robin, Best CQI, dan Proportional Fair serta PFO akan disimulasikan secara bergantian. Penelitian ini menggunakan Simulator Vienna 5G system-level. Pengujian ini akan menganalisis mean throughput, standard troughput, dan maximum throughput dari masing-masing algoritma.	Round Robin, Best CQI, Proportional Fair dan PFO. Hasil simulasi SL menunjukkan bahwa algoritma penjadwalan baru yang diusulkan yaitu PFO dapat memberikan <i>throughput</i> yang lebih tinggi dibandingkan algoritma CQI, RR, dan PF konvensional.	Berbeda dengan penelitian [5], penelitian ini berfokus pada algoritma yang lebih cocok untuk jaringan 5G. Algoritma yang dipilih yaitu RR dan PF berbeda dengan [5] yang berfokus pada PFO yang merupakan algoritma usulan. Untuk pengujiannya, penelitian ini menggunakan 5G Air Simulator untuk menganalisis hasil dari packet loss dan goodput pada proses downlink dengan menggunakan jaringan 5G

No.	Judul Penelitian	Objektif	Metode & Hasil	Perbedaan dengan TA yang Diangkat
2	<i>Proportional fair buffer scheduling algorithm for 5G enhanced mobile broadband (2021) [6]</i>	Penelitian ini berfokus dalam menguji beberapa algoritma penjadwalan pada <i>downlink</i> traffic eMBB (<i>enhanced Mobile Broadband</i>) dari jaringan 5G dengan algoritma <i>downlink</i> baru yang dirancang untuk eMBB. Beberapa Algoritma yang diuji yaitu <i>RR, Best CQI, PF, QCI, lean schedule, dan PF-Buffer</i> . Hasil yang dianalisis yaitu <i>Throughput, Goodput, fairness, dan akumulasi data nilai buffer</i> .	<i>RR, Best CQI, PF, QCI, Lean schedule, dan PF-Buffer</i> . Hasil simulasi pada setiap parameter yang di analisis, pada <i>Throughput</i> dan <i>Goodput</i> tertinggi didapatkan oleh <i>Best CQI</i> , untuk <i>fairness</i> dan <i>buffer</i> status didapatkan oleh <i>Round Robin</i>	Penelitian yang dilakukan penulis berfokus pada pengujian <i>downlink</i> 5G secara umum dengan menggunakan algoritma <i>RR</i> dan <i>PF</i> . Hasil analisis yang didapat berfokus pada <i>packet loss ratio</i> dan <i>goodput</i> .

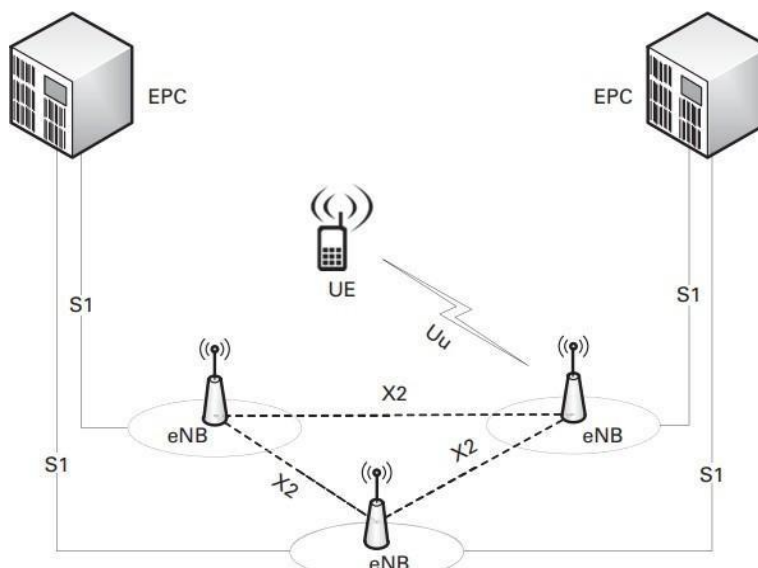
2.2. Jaringan 5G

Jaringan generasi ke 5 (5G) adalah pengembangan jaringan generasi ke 4 (*4G Long Term Evolution*) dengan teknologi yang lebih modern hasil gabungan serta pengembangan dari generasi sebelumnya. Teknologi-teknologi yang diterapkan guna mendukung pengguna dalam permintaan, teknologi yang diterapkan adalah *Enhanced Mobile Broadband (eMBB)*, yang diperuntukkan untuk menangani layanan dengan *request high bandwidth*, seperti *Ultra High Definition Video (UHD Video)*. Kemudian *Ultra-Reliable And Low-Latency Communications (uRLLC)*, yang diperuntukkan untuk mendukung teknologi sebelumnya yaitu eMBB namun dengan cakupan yang lebih luas, misalnya layanan yang berfokus pada latensi yang sensitif, seperti layanan *autopilot* kendaraan, dan manajemen *remote* jarak jauh. Dan terakhir ada *Massive Machine Type Communications (mMTC)*, yang diperuntukkan untuk lingkungan digital seperti *smart city* atau *smart agriculture* [1].

Sedangkan untuk dapat berkomunikasi, arsitektur 5G terdiri dari eNodeB, EPC (*Evolved Packet Core*), dan UE (*User Equipment*), eNodeB adalah BTS (*Base Transceiver*) sebagai penyedia konektivitas nirkabel, EPC adalah *core* dari jaringan ini, yang bertanggung jawab dalam proses komunikasi, seperti *routing, switching, alokasi alamat IP* dan sebagainya, dan terakhir UE adalah *user equipment* atau perangkat pengguna [8] seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.1. Untuk mendukung kerja teknologi-teknologi dan mendukung kerja jaringan 5G, layaknya jaringan-jaringan secara umum, jaringan 5G juga menerapkan algoritma penjadwalan untuk bantu mengalokasikan, mengatur, dan menjadwalkan proses kerja sumber daya jaringan, penerapan algoritma penjadwalan adalah agar jaringan dapat digunakan secara efisien, sesuai kebutuhan pengguna, pada jaringan 5G sendiri, diterapkan 2 struktur penjadwalan yaitu *uplink* dan *downlink* [7][9].



Gambar 2.1 Arsitektur Fisik & Teknologi 5G [9]



Gambar 2.2. Arsitektur Jaringan 5G [9]

Pada arsitektur jaringan 5G tersebut diketahui bahwa EPC (*Evolved Packet Core*) sebagai jaringan inti pada jaringan 5G. Selain jaringan 5G, jaringan 4G LTE juga menggunakan EPC sebagai jaringan inti untuk mengelola mobilitas *user* serta memberikan layanan data kepada UE. Jaringan inti tersebut terhubung dengan eNB dengan menggunakan antarmuka S1. Antarmuka ini dapat digunakan untuk mengirimkan sinyal kontrol maupun mengirimkan data pengguna. Selanjutnya, eNB atau pada 5G ini dikenal sebagai gNB (gNodeB) yang bertanggung jawab untuk mengelola sumber daya radio dan meneruskan data kepada jaringan inti. Koordinasi antara beberapa gNB dilakukan dengan antarmuka X2 untuk mengelola interferensi. UE sebagai perangkat yang digunakan user untuk terhubung ke jaringan seluler ini dapat berkomunikasi langsung dengan gNB melalui *User-User interface* (UU) atau antarmuka udara. Melalui antarmuka ini, sinyal kontrol maupun data akan ditransmisikan secara nirkabel. Tugas akhir ini dilakukan pada bagian gNB untuk menguji algoritma penjadwalan *proportional fair* dan *round robin* dengan beberapa skenario yang ada. Selain itu, tugas akhir ini juga akan menganalisis parameter PLR dan goodput dari skenario yang ada.

2.3 5G Air Simulator

5G air simulator adalah *tools* yang digunakan dalam penelitian ini, *5G air simulator* adalah simulator kerja jaringan 5G, *tools* ini bersifat *open-source* atau gratis, serta dapat dikonfigurasi kan sesuai kebutuhan pengguna dengan perspektif sistem, *tools* ini juga dibuat dengan penerapan banyak skenario kasus, dan teknologi yang dapat di simulasikan, *tools* ini adalah pengembangan dari *tools* yang sebelumnya digunakan untuk simulasi 4G yaitu *LTE-Sim* [9][10].

5G air simulator di *develop* dengan bahasa C++, dengan berisi lebih dari 300 file sumber dan *header*, 140 *classes*, dan 60.000 baris kode yang mencakup arsitektur jaringan, aplikasi dan protokol *stack*, model sistem, serta komponen teknis terkait jaringan 5G [9][10].

2.4 Packet Scheduling

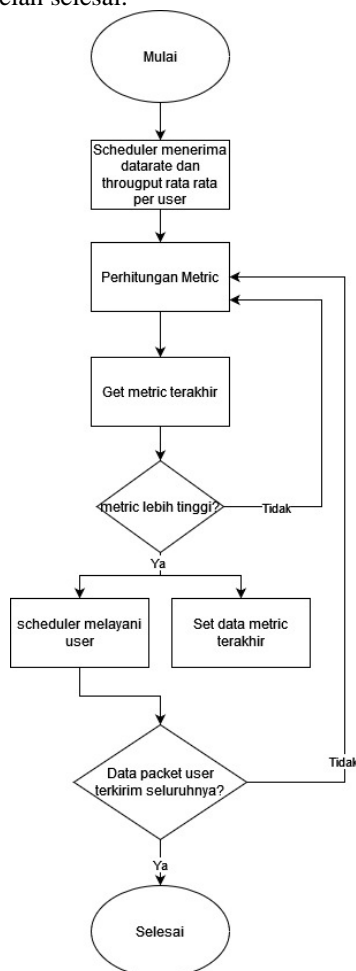
Packet scheduling adalah modul yang berfungsi dalam proses pendistribusian radio *resource* dengan menentukan proses pengiriman data berdasarkan radio *resource* yang tersedia. Terbatasnya jumlah *resource block* yang dapat dialokasikan kepada setiap *flow* menyebabkan diperlukannya strategi algoritma pengalokasian yang tepat, agar *resource block* dapat digunakan dengan optimal dan *user* mendapatkan kualitas layanan yang maksimal. *Scheduling* memiliki peran dalam alokasi blok sumber daya dalam transmisi antara pengguna yang memiliki tipe layanan yang berbeda-beda [11]. Tujuan utama dari algoritma penjadwal paket adalah untuk memaksimalkan *throughput* dan *fairness index*. *Scheduling* melakukan penjadwalan dan alokasi sumber daya untuk *subframe* baik dari arah *downlink* maupun *uplink* [12].

2.4.1 Proportional Fair

Setelah permasalahan teridentifikasi, perancangan design dibuat menggunakan *figma* lalu akan dibuat *prototype low fidelity* dalam bentuk *wireframe* dan *mockup*. Setelah itu dibuat *prototype high fidelity*. *Proportional fair* adalah paket *scheduling* yang bertujuan memaksimalkan *throughput cell* sekaligus meningkatkan nilai *fairness index*. *Proportional fair* menghitung nilai matriks berdasarkan penghitungan nilai data *rate* dan nilai *throughput* rata-rata yang diperoleh dari penghitungan matriks terakhir pada *flow* yang sama [13]. Algoritma penjadwalan yang bertujuan untuk memberikan alokasi sumber daya yang adil di antara perangkat pengguna (UE) berdasarkan pada tingkat proporsionalitas.

Dalam literatur, Boccardi et al. (2014) menyebutkan bahwa PFS menjadi salah satu pilihan yang penting dalam konteks jaringan seluler 4G dan 5G. PFS memperhitungkan kualitas kanal dan kebutuhan layanan untuk mencapai proporsionalitas yang optimal [14].

Pada Gambar 2.3. dapat dilihat untuk Diagram Alir dari *proportional fair* dari tahap awal dengan memperhitungkan nilai matriks yang diterima oleh *scheduler*, lalu dibandingkan dengan nilai matriks terakhir yang didapatkan dari hasil data rate dan nilai *throughput* rata rata per user. Jika user yang dibandingkan memiliki nilai matriks yang lebih tinggi dari nilai matriks sebelumnya, maka *scheduler* akan melayani *user*, dan *scheduler* akan melakukan *looping* sampai data paket yang dikirim telah terkirim seluruhnya maka proses telah selesai.

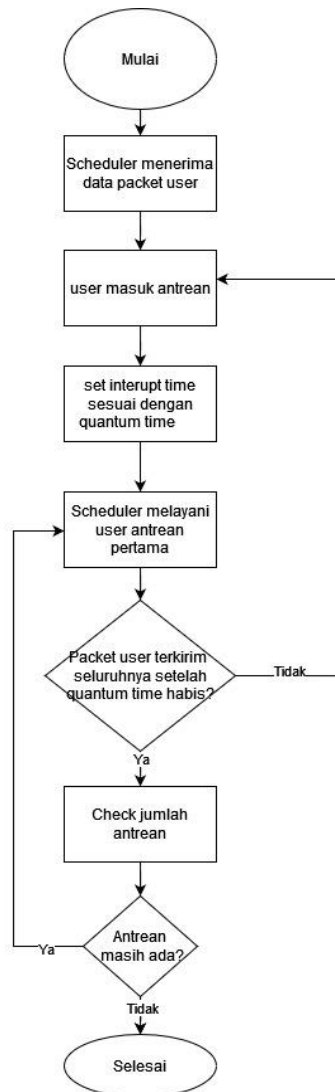


Gambar 2.3. Diagram Alir Propotional Fair

2.4.2 Round Robin

Setelah permasalahan teridentifikasi, perancangan design dibuat menggunakan *figma* lalu akan dibuat *prototype low fidelity* dalam bentuk *wireframe* dan *mockup*. Setelah itu dibuat *prototype high fidelity*. Skema penjadwalan *round robin* memprioritaskan *user* yang menetap bersamaan sehingga setiap *user* akan dijadwalkan secara adil tanpa mempertimbangkan kualitas saluran. *Round robin* adalah skema penjadwalan yang adil karena setiap terminal telah diberikan jumlah *resource* yang sama. Algoritma *round robin* mirip dengan algoritma "First Come First Serve" (FCFS) yang menggilir proses antrian berdasarkan *user* [13]. Algoritma *first come first serve* adalah metode penjadwalan yang memproses permintaan atau tugas berdasarkan urutan kedatangannya. Artinya, tugas yang datang terlebih dahulu akan diproses terlebih dahulu, tanpa mempertimbangkan prioritas atau waktu pemrosesan yang diperlukan oleh tugas tersebut.

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.4. yang merupakan Diagram alir dari proses *Round Robin* yang akan menerima data paket dari *user* dan akan masuk kedalam antrean dan proses *scheduler* akan menggilir pelayanan sesuai dengan antrean *user* yang pertama atau paling awal. Setiap proses akan dikerjakan sesuai dengan *quantum time* yang sudah ditentukan. Jika *quantum time* sudah habis dengan kondisi paket belum seluruh dikirim, maka *user* proses akan dihentikan dan *user* akan dimasukkan kedalam antrean terakhir lalu *scheduler* melakukan kembali pelayanan sesuai dengan *user* paling awal. Proses ini akan terus diulangi sampai semua packet data tiap *user* dikirim semua dan proses selesai.

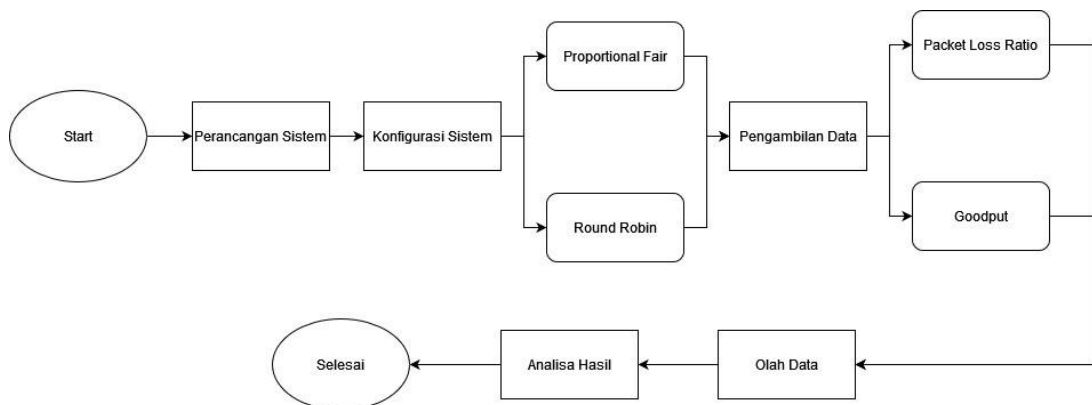


Gambar 2.3. Diagram Alir Round Robin

3. Sistem yang Dibangun

3.1 Rancangan Sistem

Rancangan dari sistem dan proses pengerjaan Tugas Akhir ini ditunjukkan pada *flowchart* yang dapat dilihat pada Gambar 3.1. untuk mengetahui alur simulasi dari hasil yang akan di dapat.



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Sistem

a. Perancangan Sistem

Pada tahap ini, sistem dirancang sesuai dengan spesifikasi dan kebutuhan. Ini melibatkan pemilihan metodologi dan teknik yang akan digunakan dalam sistem. Perancangan simulasi untuk menganalisis kinerja algoritma penjadwalan *proportional fair* dan *round robin* pada jaringan 5G dengan algoritma penjadwalan *proportional fair* dan *round robin* dengan langkah – langkah berikut ini :

1. Analisis Kebutuhan :

- a. Sistem harus mampu menjalankan simulasi penjadwalan dengan kedua algoritma secara terpisah.
- b. Sistem harus dapat mengumpulkan data mengenai *packet loss ratio* dan *goodput* selama simulasi.

2. Algoritma Penjadwalan :

- a. *Proportional fair*
- b. *Round robin*

3. Implementasi : Implementasi algoritma dalam sistem simulasi menggunakan *tools 5G air simulator*

4. Pengambilan Data : Sistem harus mampu merekam data terkait *Packet Loss Ratio* dan *Goodput* secara *real-time* selama simulasi.

5. Olah Data : Data yang dikumpulkan akan diproses menggunakan *tools* analisis statistik

6. Analisis Data : Analisis data akan difokuskan pada perbandingan performa algoritma berdasarkan *Packet Loss Ratio* dan *Goodput*.

b. Konfigurasi

Tahap Pertama yaitu konfigurasi dengan simulasi dengan beberapa skenario tes uji seperti jumlah *user*, kecepatan yang menggunakan *tools 5G air simulator* dengan dua *packet scheduling* pembading yaitu :

a. *Propotional Fair*

Penggunaan *proportional fair* sebagai *packet scheduling* ini dapat memaksimalkan *throughput cell* sekaligus meningkatkan nilai *fairness index* dengan menghitung nilai data *rate* dan nilai *throughput* rata-rata yang akan diperoleh dari penghitungan *metric* terakhir yang dapat diperoleh dari persamaan.

$$U_i = \max \frac{r_i}{(\bar{r})} \tag{3.1}$$

Dimana :

U_i = *User* ke-i,

r_i = nilai *transfer rate user* ke-i

\bar{r} = nilai rata rata *transfer rate*

b. *Round Robin*

Pengaturan skema penjadwalan yang adil dapat menggunakan *round robin* yang dapat memprioritaskan *user* yang menetap bersamaan sehingga dijadwalkan secara adil tanpa mempertimbangkan kualitas saluran. Prinsip dari algoritma *round robin* ini semua antrean dianggap sama yang diberi waktu pemrosesannya yang disebut *quantum time*, jika *quantum* tersebut habis atau proses selesai maka proses berlanjut pada antrean berikutnya.

round robin dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$U_i = \text{mod} ((k - 1), N) + 1 \tag{3.2}$$

Dimana :

U_i = *User* ke i , k = urutan pada *Time Transmission Interval* (TTI) dimana *user* akan dijadwalkan, N = jumlah *user* aktif, U_i akan dijadwalkan pada *time transmission interval* sesuai kedatangannya atau urutan ke- k jika hasil yang didapatkan dari rumus *round robin* menghasilkan 1.

c. Pengambilan Data

Dari skema konfigurasi yang digunakan dan skenario uji dari skema *packet scheduling* yang digunakan menghasilkan data akan menggunakan teknik pengelolaan lalu lintas data untuk mengurangi *packet loss ratio* aliran dalam jaringan yaitu QoS (*Quality Of Services*). *Quality of services* yang digunakan adalah:

a. *Packet Loss Ratio*

Aspek kualitas layanan dari diperhitungan menggunakan rasio dari *packet loss ratio*. *packet loss ratio* akan menghasilkan nilai kegagalan transmisi *packet* yang mencapai tujuan. Perhitungan *packet loss ratio* dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$PLR = \frac{\text{Packets Sent} - \text{Packets Received}}{\text{Packets Sent}} \cdot 100\% \tag{3.3}$$

b. *Goodput*

Goodput digunakan sebagai aspek pada kualitas dari penggunaan skema konfigurasi sebagai parameter keberhasilan keseluruhan data dikirim sampai tujuan yang dibagi dengan waktu eksekusi dari simulasi yang dijalankan. *Goodput* dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\text{Goodput} = \frac{\text{Total Data Sent} - \text{Protocol Overhead} - \text{Retransmission}}{\text{Time Interval}} \tag{3.4}$$

d. Olah Data

Pengukuran parameter yang didapatkan dapat olah untuk menjadi hasil analisis dari skenario uji dari skema *packet* yang digunakan dalam penelitian. Data yang didapatkan dapat diolah divisualisasikan agar menjadi gambaran dari dua *packet scheduling* yang digunakan dengan skenario uji yang berbeda sehingga dapat menjadi pertimbangan dalam memilih *packet scheduling* untuk algoritma penjadwalan.

e. Analisa Hasil

Pengolahan data yang divisualisasikan akan dianalisa sesuai data yang didapatkan untuk melihat aspek kualitas layanan yang dihasilkan dan dapat diperkuat dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan metode yang sama.

3.2 Konfigurasi Sistem

Konfigurasi Sistem Pada penelitian ini menggunakan konfigurasi sistem yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Konfigurasi Sistem

Parameter	Keterangan
Bandwidth	10 Mhz
Jumlah UE	25 nUE, 50 nUE, 100 nUE
Kecepatan	3 km/jam, 30 km/jam, 100 km/jam
Cell	MultiCell
Packet Scheduler	Proportional Fair
	Round Robin
QoS	Packet Loss Ratio
	Goodput

3.3 Kebutuhan Sistem

Kebutuhan sistem melingkupi dari Komponen *Hardware* dan Komponen *Software* untuk menunjang penelitian ini.

3.3.1. *Komponen Hardware*

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *hardware* seperti berikut :

- Lenovo Thinkpad
- Intel Core i5 – 8365U CPU @1.60GHz (8CPUs), 1,9GHz
- RAM : 16 GB
- SSD : 512 GB
- Sistem Operasi Linux Ubuntu 20.04 LTS & Windows 11 Pro

3.3.2. *Komponen Software*

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* seperti berikut :

- 5G Air Simulator
- Visual Code Studio

3.4 Skenario Pengujian

Skenario pengujian yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

- a. Skenario Pengujian Terhadap Perubahan Jumlah *User*
 Skenario ini diuji dengan menggunakan simulasi penambahan jumlah *user* secara berkala dimulai dari 25,50 dan 100 dengan kecepatan pergerakan *user* adalah 120km/jam. Pada tiap *user* akan membangkitkan trafik layanan VOIP, VOID dan BE dengan perbandingan 1:1:1.
- b. Skenario Pengujian Terhadap Perubahan Kecepatan
 Pengujian terhadap perubahan kecepatan dengan jumlah 100 *user* yang bergerak dalam kecepatan 3 km/jam, 30 km/jam, 120km/jam dengan simulasi *packet scheduler* yang digunakan.

4. Evaluasi

Setelah tahapan simulasi yang dilakukan dengan menerapkan 2 skenario uji pada *tools 5G air simulator*, didapatkan hasil *delay*, *throughput*, dan *fairness index* dalam jaringan 5G saat menangani penggunaan jaringan dalam streaming atau akses video, kemudian akan dilakukan analisis terhadap hasil tersebut, hasil yang akan di analisis terbagi berdasarkan 2 skenario uji, yaitu penambahan jumlah pengguna secara berkala, dan perubahan kecepatan pengguna.

Tabel 4.1 *Template Simulasi Skenario Uji pada 5G Air Simulator*

nCell	r	nUE	nVoip	nVid	nBE	nCBR	sched	frStr	speed	maxD	vidRate
7	1	25	0	0	1	0	1	1	3	0.1	128

Tabel 4.2 *Simulasi Skenario Uji pada 5G Air Simulator*

r	nUE	nVoip	nVid	nBE	nCBR	sched	speed	tti
2000	25	1	1	1	0	1	3	1ms

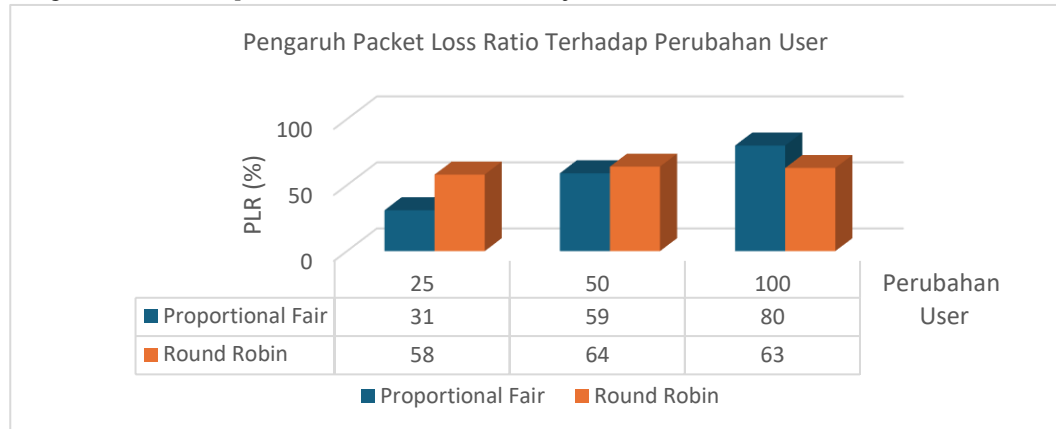
Tabel 4.1. menjelaskan inputan simulasi *default* pada *5G air simulator* . Pada tabel tersebut terdapat *nCell* sebagai inputan jumlah *area/cell* yang ada dalam simulasi, *r* sebagai radius pengguna dari titik utama jaringan dalam *area/cell*, *nUE* sebagai jumlah pengguna yang akan berubah sesuai dengan skenario pengujian, *nVoip* maupun *nVid* sebagai jumlah video dari tiap *user*, *nCBR* untuk membangkitkan *traffic* penggunaan jaringan sehingga simulasi dijalankan secara *realtime*, *sched* untuk menentukan penjadwalan yang dijalankan, *frStr* untuk sebagai arah jaringan, *speed* untuk kecepatan *user* yang digunakan, *maxD* (*MAX DELAY*) dapat ditolerir oleh *tools*, dan *vidRate* untuk menerapkan bit rate video. *VidRate* yang lebih tinggi berarti kualitas video yang lebih baik tetapi juga membutuhkan lebih banyak *bandwith* jaringan. *TTI* atau *Transmission Time Interval* atau yang biasa disebut *quantum time* pada *round robin* sebesar 1ms. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi di beberapa kolom untuk melakukan skenario pengujian pada penelitian ini yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

4.1 Hasil Pengujian

Hasil dari pengujian serta simulasi berupa file dengan format *Command Separated Values* (CSV) berisi data proses. Kemudian untuk mendapatkan hasilnya dilakukannya dengan menggunakan *tools* yang terdapat pada *5G air simulator* dengan menjalankan sebuah perintah terminal.

1. *Packet Loss Ratio*

a. Pengaruh Perubahan *packet loss rasio* berdasarkan jumlah *user*



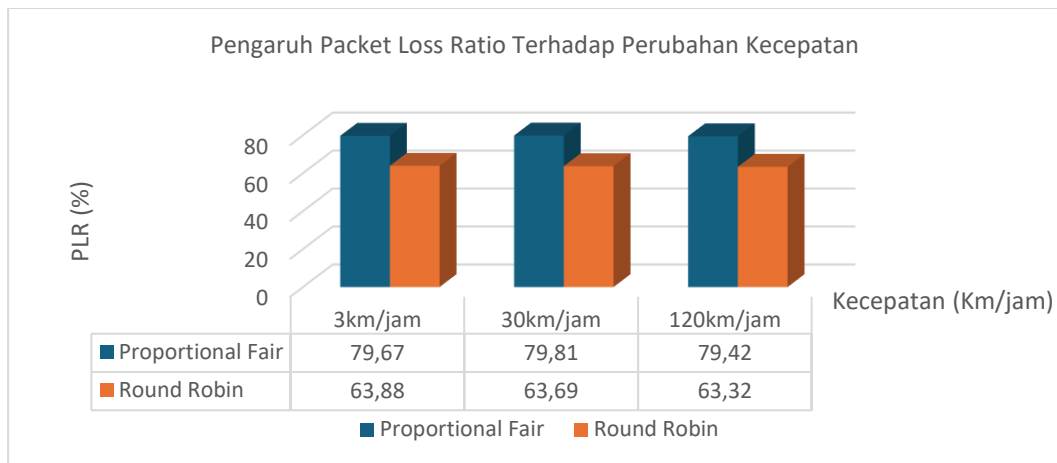
Gambar 4.1 Pengaruh Perubahan *Packet Loss Ratio* Berdasarkan Jumlah *User*

Gambar 4.1. merupakan hasil output dari nilai *packet loss ratio* yang membandingkan antara *propotional fair* dan *round robin* berdasarkan perbedaan jumlah *user*. Diagram tersebut menunjukkan bahwa pengujian dengan *propotional fair* dan *round robin* mengalami peningkatan setiap penambahan *user*. Pada *round robin*, ketika jumlah pengguna meningkat, keterbatasan dalam pengalokasian sumber daya semakin terasa karena semua pengguna mendapatkan bagian yang sama tanpa mempertimbangkan kondisi saluran. Hal ini menyebabkan meningkatnya *packet loss ratio* ketika sumber daya jaringan harus dibagi lebih banyak. Pada *propotional fair*, sebaliknya, mampu mempertahankan *packet loss ratio* yang lebih rendah karena alokasinya yang dinamis dan adaptif, meskipun jumlah pengguna meningkat. Hal ini dapat disebabkan karena *propotional fair* memberikan prioritas kepada *user* dengan kondisi saluran yang lebih baik.

Nilai *packet loss ratio* tertinggi terjadi saat perubahan jumlah *user* menjadi 100 pengguna dengan menggunakan algoritma *propotional fair*, untuk *round robin* memiliki nilai *packet loss ratio* lebih rendah pada saat *user* berjumlah 100, dengan nilai *packet loss ratio* 63%. Hal ini terjadi karena *round robin* akan selalu membagi waktu secara merata ke semua *user* (*quantum time*) dengan *1ms quantum time* *packet loss ratio* bisa menjadi cukup tinggi jika jaringan tidak mampu menangani beban tinggi, bukan seperti *propotional fair* yang memiliki *user priority* yang bergantung pada *bandwidth* dan kondisi saluran yang lebih memungkinkan untuk diprioritaskan.

b. Pengaruh Perubahan *Packet Loss Ratio* Berdasarkan Kecepatan

Seperti pengaruh perubahan *packet loss ratio* berdasarkan jumlah *user*, hasil *propotional fair* masih lebih tinggi dibandingkan *round robin* meskipun pengujiannya dilakukan berdasarkan perubahan kecepatan. Pada pengujian dengan kecepatan 3km/jam, *propotional fair* memiliki *packet loss ratio* sebesar 61.39, sedangkan *round robin* memiliki 58.48. Saat melakukan percobaan kedua, yaitu dengan kecepatan 30km/jam, *propotional fair* dan *round robin* memiliki peningkatan yang sama, yaitu sebesar 11%, sehingga *propotional fair* memiliki 72.86% *packet loss ratio* dan *round robin* memiliki 69.15% *packet loss ratio*. Setelah itu, dilakukan percobaan dengan kecepatan 120km/jam. Peningkatan *packet loss ratio* pada kecepatan ini lebih rendah dibandingkan saat percobaan kedua, yaitu sebesar 9%. Perubahan *packet loss ratio* tersebut secara umum akan terjadi karena semakin tinggi kecepatan *transfer* data, maka akan semakin kecil juga kemungkinan terjadinya kehilangan paket data.



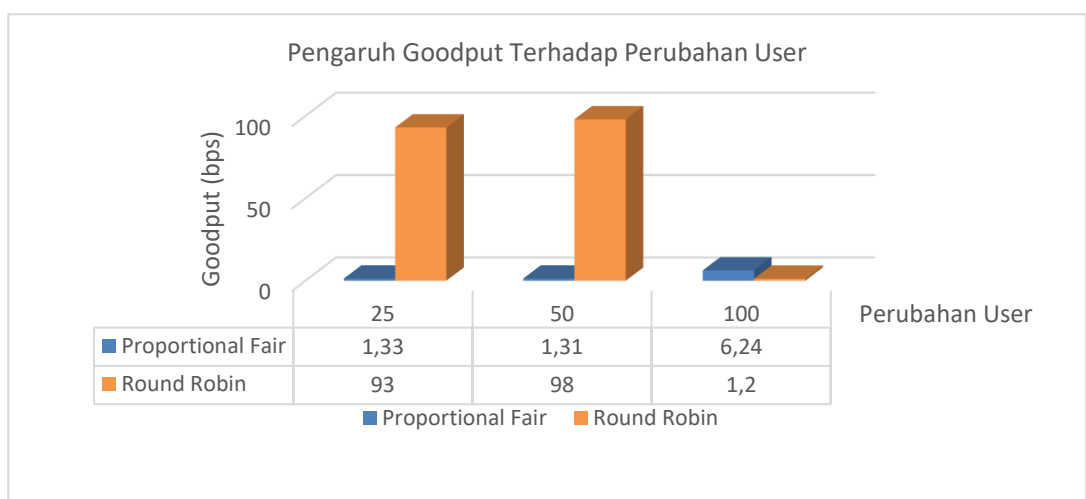
Gambar 4.2 Perubahan *Packet Loss Ratio* Berdasarkan Kecepatan

Dapat dilihat kembali pada Gambar 4.2. bahwa perbedaan yang di dapat antara dua jenis *scheduling* ini memiliki hasil yang signifikan, yaitu berbeda sebesar 3%. Salah satu penyebab terjadinya hal tersebut yaitu karena *proportional fair* dikembangkan khusus untuk pengguna yang tidak bergerak, sehingga apabila penerapan *proportional fair* ini pada pengguna bergerak, maka akan terjadi fluktuasi dalam kondisi saluran yang dapat memengaruhi kinerja dari algoritma penjadwalan tersebut. Berbeda dengan *proportional fair*, *round robin* lebih berfokus pada *time-sharing* tanpa memperhatikan lebih dalam mengenai kondisi saluran dan memiliki *packet loss ratio* yang rendah karena mobilitas rendah yang mengurangi jumlah *handover* atau perpindahan antar proses pengiriman paket data.

2. *Goodput*

a. Pengaruh Perubahan *Goodput* Berdasarkan Jumlah *User*

Berdasarkan Gambar 4.3, *goodput* pada algoritma *proportional fair* dan *round robin* dengan dilakukannya perubahan jumlah *user* memiliki hasil yang cukup bervariasi. Namun, dari hasil pengujian yang di dapat menunjukkan bahwa nilai *goodput* pada *proportional fair* lebih seimbang dibandingkan *round robin* pada perubahan jumlah *user*. Hal ini terjadi karena adanya kemampuan *proportional fair* dalam mengalokasikan sumber daya secara adil dengan kualitas kanal yang relatif lebih baik. Selain itu, algoritma penjadwalan tersebut juga memaksimalkan *throughput* total dengan seluruh *user* mendapatkan pelayanan minimal.

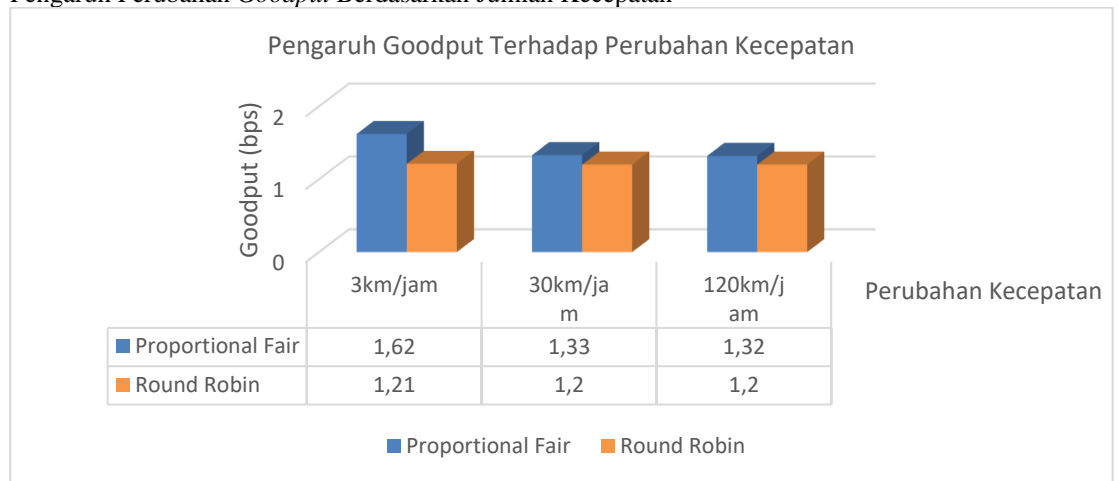


Gambar 4.3 Pengaruh Perubahan *Goodput* Berdasarkan Jumlah *User*

Pada jumlah 25 *user*, *round robin* memiliki hasil 93 *goodput* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *proportional fair* yang memiliki *goodput* sebesar 1.33. Begitu juga saat diuji dengan perubahan jumlah *user* menjadi 50, *round robin* kembali memiliki nilai *goodput* yang besar.

Sedangkan saat melakukan percobaan dengan jumlah *user* sebanyak 100 pengguna, *proportional fair* memiliki *goodput* lebih tinggi daripada *round robin*, yaitu sebesar 6.24. Sebagai metode penjadwalan yang membagi semua proses dengan slot waktu (*quantum*) yang sama, *round robin* tidak terpengaruh dengan jumlah *bandwith* yang dimiliki. Jika *bandwidth* tidak cukup dalam *quantum* yang sudah ditentukan, maka sisa data yang belum terkirim akan dimasukkan ke antrian yang baru dengan *quantum* yang sama yaitu 1ms, sehingga menyebabkan panjangnya *queue* dan adanya penundaan bagi *user* yang memiliki *bandwidth* lebih tinggi. Sedangkan untuk hasil *goodput round robin* yang relatif lebih tinggi dibandingkan *proportional fair* bisa disebabkan berbagai faktor, contohnya karena *round robin* lebih tahan terhadap *bursty traffic* dan memberikan prediktabilitas yang lebih baik dalam waktu bagi pengguna karena waktunya yang sama.

b. Pengaruh Perubahan *Goodput* Berdasarkan Jumlah Kecepatan



Tabel 4.4 Pengaruh Perubahan *Goodput* Pada Berdasarkan Kecepatan

Berdasarkan pada Gambar 4.4, *proportional fair* memiliki *goodput* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *round robin* walaupun ada perubahan dalam kecepatan. *Goodput* terbesar dihasilkan pada algoritma penjadwalan *proportional fair* di kecepatan 3km/jam dengan nilai *goodput* yang diperoleh sebesar 1.62. Dalam skenario dengan mobilitas pengguna, terutama pada kecepatan yang lebih tinggi (30 km/h dan 120 km/h), kondisi sinyal cenderung lebih tidak stabil. *Proportional fair* dapat beradaptasi dengan perubahan ini lebih baik daripada *round robin* dengan memberikan sumber daya kepada pengguna yang saat itu berada dalam kondisi saluran terbaik, yang secara langsung meningkatkan *goodput*.

Pada algoritma penjadwalan *round robin*, *round robin* tidak terlalu memperhatikan kebutuhan *bandwidth*, penurunan *goodput* setiap peningkatan kecepatan dengan menggunakan *round robin* ini dapat terjadi karena *round robin* tidak ideal dalam menangani *traffic burst* karena adanya data yang memiliki *bandwidth* yang terlalu tinggi. Meskipun *round robin* mendistribusikan sumber daya secara merata kepada semua pengguna tanpa mempertimbangkan kondisi saluran, ini tidak selalu efisien dalam hal *throughput* karena pengguna dengan kondisi saluran yang buruk masih mendapatkan alokasi yang sama seperti pengguna dengan kondisi saluran yang baik.

5. Kesimpulan

Algoritma *proportional fair* dan *round robin* memiliki karakteristik kinerja yang berbeda dalam jaringan 5G, dan pemilihan algoritma yang optimal bergantung pada skenario dan kondisi jaringan yang dihadapi. Dari hasil analisis dan pengujian terhadap perubahan jumlah pengguna dan perubahan kecepatan, beberapa poin penting dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Performa *Packet Loss Ratio* dan *Goodput*:

- ***Packet Loss Ratio***: Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma *proportional fair* menghasilkan nilai *packet loss ratio* yang lebih rendah dibandingkan *round robin* dalam skenario perubahan jumlah pengguna. Hal ini menunjukkan bahwa Proportional Fair lebih efisien dalam mengurangi kehilangan paket pada kondisi tertentu.
- ***Goodput***: Meskipun *round robin* memiliki *packet loss ratio* yang lebih tinggi, algoritma ini menunjukkan *goodput* yang lebih tinggi dibandingkan *proportional fair*. Ini menunjukkan bahwa *round robin* lebih efisien dalam memaksimalkan penggunaan *bandwidth* dan mengirimkan lebih banyak data valid dalam waktu tertentu.

2. Efisiensi Algoritma:

- ***Proportional Fair***: Algoritma ini lebih fokus pada distribusi *bandwidth* yang adil berdasarkan kondisi kanal pengguna, yang dapat menyebabkan penurunan kecepatan rata-rata pengguna dan tingginya *packet loss ratio*, namun menghasilkan *goodput* yang lebih seimbang.
- ***Round Robin***: Algoritma ini beroperasi berdasarkan *quantum time* tanpa mempertimbangkan kondisi kanal pengguna, yang menyebabkan *packet loss ratio* lebih tinggi, tetapi *goodput* yang lebih tinggi dalam kondisi tertentu. Ini mengindikasikan bahwa *round robin* dapat lebih efisien dalam skenario dengan sedikit pengguna atau dalam lingkungan dengan kecepatan rendah hingga sedang. Dengan *Quantum Time* 1ms umumnya lebih cocok untuk skenario dengan sedikit pengguna atau dalam lingkungan dengan kecepatan rendah hingga sedang.

3. Hubungan Antara *Packet Loss Ratio* dan *Goodput*:

- Kedua parameter *quality of service*, yaitu *packet loss ratio* dan *goodput*, saling berhubungan dan saling mempengaruhi. Efisiensi suatu algoritma tidak hanya ditentukan oleh PLR yang rendah, tetapi juga oleh kemampuan untuk memaksimalkan *goodput*. Oleh karena itu, dalam memilih algoritma penjadwalan yang optimal, penting untuk mempertimbangkan keseimbangan antara PLR dan *Goodput* sesuai dengan kondisi jaringan yang dihadapi.

Dengan demikian, kesimpulan ini mendukung tujuan penelitian untuk menganalisis dan mensimulasikan kinerja kedua algoritma tersebut dalam berbagai kondisi jaringan, guna menentukan algoritma yang lebih optimal dan efisien pada jaringan 5G.

Daftar Pustaka

- [1] "5G-PPP Software Network Working Group Network Applications: Opening up 5G and beyond networks," 2022, doi: 10.5281/zenodo.7123919.
- [2] Miyim, A. M., Ismail, M., & Nordin, R. (2016). Enhanced cellular systems for cooperative communication in 5G networks. 2016 International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering (ICAEEES). doi:10.1109/icaees.2016.7888085
- [3] Rajendran, A. R., Keshav, K., & Balasubramaniam, M. (2020). Efficient and Dual SIM Aware Resource Scheduling for 5G and Future Networks. 2020 IEEE 3rd 5G World Forum, 5GWF 2020 - Conference Proceedings, 337–342. <https://doi.org/10.1109/5GWF49715.2020.9221128>
- [4] Sd de Oliveira, R.P. & de Góis, L.A. & Foronda, A., "Enhanced PF Scheduling algorithm for LTE networks", International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS), vol. 10, no. 1, 2018
- [5] Li, L., Shao, W., & Zhou, X. (2021). A flexible Scheduling algorithm for the 5th-generation networks. Intelligent and Converged Networks, 2(2), 101–107. <https://doi.org/10.23919/ICN.2020.0017>
- [6] A. Mamane, F. Fattah, M. El Ghazi, Y. Balboul, M. El Bekkali, dan S. Mazer, "Proportional Fair buffer Scheduling algorithm for 5G enhanced mobile broadband," International Journal of Electrical and Computer Engineering, vol. 11, no. 5, hlm. 4165–4173, Okt 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i5.pp4165-4173.
- [7] Sakshi dkk., "A new median-average Round Robin Scheduling algorithm: An optimal approach for reducing turnaround and waiting time," Alexandria Engineering Journal, vol. 61, no. 12, hlm. 10527–10538, Des 2022, doi: 10.1016/j.aej.2022.04.006.
- [8] "5G Mobile and Wireless Communications Technology."
- [9] S. Martiradonna, A. Grassi, G. Piro, dan G. Boggia, "5G-air-simulator: An open- source tool modeling the 5G air interface," Computer Networks, vol. 173, Mei 2020, doi: 10.1016/j.comnet.2020.107151.
- [10] S. Martiradonna, A. Grassi, G. Piro, dan G. Boggia, "Understanding the 5G-air- simulator: A tutorial on design criteria, technical components, and reference use cases," Computer Networks, vol. 177, Agu 2020, doi: 10.1016/j.comnet.2020.107314.
- [11] DE OLIVEIRA, Renê Pomilio; DE GÓIS, Lourival Aparecido; FORONDA, Augusto. Enhanced PF Scheduling algorithm for LTE networks. International Journal of Communication Networks and Information Security, 2018, 10.1: 49-55.
- [12] MEZZAVILLA, Marco, et al. 5G mmWave module for the ns-3 network simulator. In: Proceedings of the 18th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems. 2015. p. 283-290.
- [13] CAPOZZI, Francesco, et al. Downlink Packet Scheduling in LTE cellular networks: Key design issues and a survey. IEEE communications surveys & tutorials, 2012, 15.2: 678-700.
- [14] BOCCARDI, Federico, et al. Five disruptive technology directions for 5G. IEEE communications magazine, 2014, 52.2: 74-80.