

LAPORAN TUGAS BESAR

KOMPUTASI STATISTIK

IMPLEMENTASI ALGORITMA ITERATIF UNTUK SIMULASI DAN OPTIMASI SISTEM ANTRIAN KANTIN BKL INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA



DISUSUN OLEH:

KHAIRUNNISA MAHARANI	123450071
LUTFIA AISYAH PUTRI	123450074
DEVI RAHAYU	123450010
RIDHO BENEDICTUS TOGI MANIK	123450060

**PROGRAM STUDI SAINS DATA
FAKULTAS SAINS
INSTITUT TEKNOLOGI SUMATERA
2025**

Abstrak

Salah satu metode analisis yang digunakan untuk mengevaluasi sistem pelayanan pada fasilitas publik adalah analisis bottleneck. Kantin BKL Institut Teknologi Sumatera (ITERA) menghadapi tantangan operasional berupa antrian panjang yang berpotensi meningkatkan Waktu Total Pelanggan di Sistem (TIS). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi bottleneck utama dalam alur pelayanan dan menentukan skenario perbaikan operasional paling optimal untuk meminimalkan TIS. Metodologi penelitian menerapkan konsep komputasi statistik menggunakan bahasa R. Data primer sebanyak 43 observasi diperoleh melalui studi observasi jam sibuk (12:00-17:00) dan diolah untuk mengekstraksi parameter statistik layanan. Parameter utama (waktu kasir dan waktu dapur) tersebut digunakan sebagai input untuk pembangkitan bilangan acak dengan fungsi `rnorm()` guna menghasilkan 10.000 data simulasi. Sebuah algoritma iteratif (for loop) dikembangkan untuk mengevaluasi rata-rata TIS dari empat skenario intervensi. Hasil simulasi menunjukkan TIS dasar sebesar 18,35 menit. Perbaikan 30% pada kasir (Skenario 2) hanya menurunkan TIS menjadi 17,28 menit, sedangkan perbaikan 30% pada dapur (Skenario 4) secara signifikan menurunkan TIS menjadi 13,88 menit. Algoritma iteratif pencarian minimum mengonfirmasi Skenario 4 sebagai solusi optimal, membuktikan bahwa alokasi sumber daya pada titik bottleneck utama (dapur) 4,18 kali lebih efektif dibandingkan pada area bottleneck sekunder (kasir). Hasil penelitian ini diharapkan menjadi dasar bagi strategi peningkatan efisiensi layanan di lingkungan kampus.

Key Words : *Sistem Antrian, Bottleneck, Algoritma Iteratif, Komputasi Statistik, TIS*

DAFTAR ISI

Abstrak.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Teori Sistem Antrian	3
2.2 Analisis <i>Bottleneck</i> (Penghambat)	3
2.3 Komputasi Statistik untuk Analisis Sistem	3
2.3.1 Teknik Munging Data (<i>Data Munging</i>).....	4
2.3.2 Pembangkitan Bilangan Acak (Simulasi).....	4
2.3.3 Algoritma Pemrograman Iteratif	4
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	5
3.1 Pengumpulan Data Observasi	5
3.2 Variabel Penelitian	5
3.3 Diagram Alir (Alur Penelitian)	6
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	9
4.1 Deskripsi Data Primer dan Identifikasi <i>Bottleneck</i>	9
4.2 Hasil Simulasi dan Analisis Skenario	9
4.3 Interpretasi Hasil dan Pembahasan	11
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	13
5.1 Kesimpulan.....	13
5.2 Saran.....	13
DAFTAR PUSTAKA	15
LAMPIRAN.....	16

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Efisiensi operasional fasilitas pendukung kampus merupakan salah satu faktor penting dalam menunjang kegiatan akademik dan kemahasiswaan. Kantin BKL, sebagai salah satu penyedia layanan makanan utama di Institut Teknologi Sumatera (ITERA), memegang peranan vital dalam memenuhi kebutuhan mahasiswa, terutama pada jam sibuk. Namun, observasi awal mengindikasikan adanya permasalahan laten terkait durasi antrian yang panjang, khususnya pada jam makan siang. Fenomena ini tidak hanya menurunkan kenyamanan dan kepuasan pelanggan, tetapi juga berpotensi mengurangi waktu istirahat produktif mahasiswa.

Sistem pelayanan di Kantin BKL merupakan sistem multi-tahap yang melibatkan beberapa titik layanan, mulai dari pemesanan, pembayaran di kasir, hingga produksi di dapur. Observasi awal mengidentifikasi bahwa titik *bottleneck* utama terjadi pada salah satu *counter* makanan (*Counter 4*) yang melayani menu utama, sehingga penelitian ini berfokus pada sistem pelayanan tersebut. Dalam sistem yang kompleks seperti ini, sering kali terjadi *bottleneck* (penghambat) pada salah satu titik yang menyebabkan penumpukan antrian di seluruh sistem. Identifikasi *bottleneck* secara akurat menjadi krusial sebelum pengambilan keputusan manajerial. Keputusan yang keliru—seperti menambah sumber daya pada titik yang sudah efisien—tidak hanya membuang biaya, tetapi juga gagal menyelesaikan akar permasalahan.

Komputasi statistik menawarkan kerangka kerja yang kuat untuk menganalisis sistem kompleks seperti ini. Dengan menggunakan data hasil observasi, kita dapat membangun model simulasi yang mereplikasi alur kerja kantin. Penelitian ini mengusulkan penggunaan bahasa R untuk menerapkan berbagai teknik komputasi statistik, termasuk *data munging*, pembangkitan bilangan acak, dan algoritma iteratif, guna memodelkan sistem Kantin BKL. Simulasi tersebut digunakan untuk menguji berbagai skenario *what-if* secara virtual, seperti meningkatkan efisiensi kasir atau mempercepat proses dapur. Dengan demikian, intervensi perbaikan dapat dirancang berdasarkan bukti kuantitatif, bukan sekadar intuisi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa rata-rata Waktu Total di Sistem (TIS) yang dialami pelanggan di Kantin BKL ITERA pada kondisi operasional saat ini?
2. Di antara proses pelayanan kasir dan proses produksi dapur, manakah yang menjadi *bottleneck* utama dalam sistem antrian?
3. Skenario intervensi manakah (meningkatkan efisiensi kasir vs. meningkatkan efisiensi dapur) yang memberikan dampak paling optimal dalam mengurangi TIS rata-rata?

1.3 Tujuan Penelitian

Sejalan dengan rumusan masalah, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis dan menghitung TIS rata-rata pelanggan Kantin BKL ITERA pada kondisi *baseline* berdasarkan data observasi.
2. Mengidentifikasi *bottleneck* operasional utama dengan membandingkan parameter statistik waktu pelayanan di setiap stasiun (kasir dan dapur).
3. Mengimplementasikan algoritma iteratif berbasis R untuk mensimulasikan dan membandingkan TIS dari berbagai skenario perbaikan, guna menentukan strategi optimasi yang paling efektif dan efisien.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- Manfaat Praktis: Memberikan rekomendasi strategis berbasis data (*data-driven*) kepada pengelola Kantin BKL ITERA. Hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar pengambilan keputusan untuk mengalokasikan sumber daya (tenaga kerja, modal) secara efektif pada *bottleneck* yang tepat, sehingga dapat meningkatkan kepuasan pelanggan melalui pengurangan waktu tunggu.
- Manfaat Akademis: Mendemonstrasikan sebuah kerangka kerja (*framework*) komputasi statistik yang dapat digeneralisasi. Metodologi yang digunakan—mulai dari *data munging*, analisis *bottleneck*, hingga simulasi skenario dengan algoritma iteratif—dapat direplikasi dan diaplikasikan untuk menganalisis sistem pelayanan lain di lingkungan Institut Teknologi Sumatera, seperti antrian di perpustakaan, layanan administrasi akademik, atau fasilitas pendukung lainnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Sistem Antrian

Sistem antrian merupakan studi matematis tentang “garis tunggu” atau antrian. Sebuah sistem antrian didefinisikan oleh proses kedatangan pelanggan, proses pelayanan, dan jumlah pelayan (*server*) [1]. Dalam konteks penelitian ini, sistem Kantin BKL dimodelkan sebagai sistem multi-tahap yang terdiri atas dua stasiun utama, yaitu kasir dan dapur.

Terdapat beberapa metrik kinerja utama dalam menganalisis sistem antrian:

- **Waktu Antar Kedatangan (*Interarrival Time*, IAT):** Interval waktu antara kedatangan dua pelanggan yang berurutan.
- **Waktu Pelayanan (*Service Time*, ST):** Waktu yang dibutuhkan server (kasir atau dapur) untuk melayani satu pelanggan.
- **Waktu Total di Sistem (*Total Time in System*, TIS):** Total waktu yang dihabiskan pelanggan di dalam sistem, yang dihitung sejak pelanggan tiba di antrian pertama hingga selesai dilayani sepenuhnya [1].

Meskipun banyak model antrian teoretis, seperti M/M/1, mengasumsikan distribusi kedatangan *Poisson* dan waktu pelayanan eksponensial, penelitian ini menggunakan pendekatan empiris. Parameter sistem—meliputi rata-rata dan standar deviasi untuk *Interarrival Time* (IAT), *Service Time* (ST) pada kasir, dan *Service Time* (ST) pada dapur—diperoleh langsung dari data observasi lapangan ($n = 43$), sehingga lebih merepresentasikan kondisi nyata di Kantin BKL.

2.2 Analisis *Bottleneck* (Penghambat)

Dalam sistem multi-tahap, *bottleneck* adalah stasiun atau proses yang memiliki kapasitas terendah atau waktu pemrosesan terpanjang [2]. Identifikasi *bottleneck* sangat krusial karena faktor ini menentukan *throughput* atau keluaran maksimum dari keseluruhan sistem.

Goldratt (2014), dalam *Theory of Constraints*, menyatakan bahwa upaya perbaikan yang difokuskan pada *non-bottleneck* tidak akan memberikan peningkatan signifikan terhadap kinerja sistem secara keseluruhan [3]. Sebaliknya, sedikit perbaikan pada proses yang menjadi *bottleneck* dapat memberikan dampak yang substansial. Dalam penelitian ini, analisis *bottleneck* dilakukan dengan membandingkan parameter statistik (rata-rata *Service Time* (ST)) antara stasiun kasir dan stasiun dapur untuk menentukan titik fokus intervensi perbaikan (Skenario 2, 3, dan 4).

2.3 Komputasi Statistik untuk Analisis Sistem

Penelitian ini secara ekstensif menggunakan tiga pilar komputasi statistik yang relevan dengan petunjuk tugas [4], yang diimplementasikan menggunakan bahasa R [5].

2.3.1 Teknik Munging Data (*Data Munging*)

Data mentah hasil observasi lapangan jarang kali siap untuk dianalisis. *Data munging* atau *data wrangling* adalah proses iteratif untuk mengubah dan memetakan data mentah ke dalam format lain yang lebih sesuai untuk analisis [6]. Dalam penelitian ini, *data munging* dilakukan pada Fase 0.5, di mana data *timestamp* (jam:menit:detik) dari file .csv diubah menjadi data durasi numerik dalam satuan menit (IAT, ST Kasir, ST Dapur). Proses ini esensial untuk menghitung parameter statistik pada Fase 1.

2.3.2 Pembangkitan Bilangan Acak (Simulasi)

Dengan jumlah data observasi yang terbatas ($n = 43$), sulit untuk menarik kesimpulan yang solid mengenai perilaku sistem dalam jangka panjang. Simulasi, khususnya pembangkitan bilangan acak, digunakan untuk mengatasi keterbatasan ini. Berdasarkan parameter (rata-rata dan standar deviasi) hasil observasi, ribuan data simulasi ($n = 10.000$) dapat di-*generate* untuk merepresentasikan perilaku sistem secara statistik [7].

Penelitian ini menggunakan fungsi `rnorm()` di R, yang menghasilkan bilangan acak dari distribusi normal berdasarkan nilai *mean* dan *standard deviation* yang ditentukan. Data simulasi ini kemudian digunakan sebagai input untuk pengujian setiap skenario.

2.3.3 Algoritma Pemrograman Iteratif

Algoritma iteratif merupakan fondasi komputasi saintifik yang melibatkan pengulangan serangkaian instruksi untuk mencapai tujuan tertentu [8]. Sesuai dengan materi Modul 1 Komputasi Statistik [9], penelitian ini memanfaatkan algoritma iteratif dalam dua bentuk:

1. **Iterasi Skenario (Perulangan *for*):** Untuk menguji empat skenario yang dirancang (Basis, +Kasir, Dapur -15%, Dapur -30%), digunakan struktur perulangan *for* (*i in 1:4*). Dalam setiap iterasi, parameter simulasi disesuaikan, 10.000 data di-*generate*, *Total Time in System* (TIS) dihitung, dan hasil disimpan. Ini merupakan implementasi langsung dari “Perulangan For” untuk analisis komparatif.
2. **Iterasi Pencarian Minimum (Modifikasi Kasus I):** Setelah empat rata-rata *Total Time in System* (TIS) dari seluruh skenario diperoleh, algoritma iteratif kedua digunakan untuk mencari solusi optimal. Algoritma ini, yang merupakan modifikasi dari Kasus I: Pencarian Maksimum [9], mengiterasi vektor hasil untuk membandingkan setiap nilai dan menemukan TIS minimum secara terprogram.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data Observasi

Penelitian ini menggunakan dua jenis data:

1. **Data Primer (n=43):** Data diperoleh melalui teknik pengumpulan data berupa observasi langsung (studi lapangan) di Kantin BKL ITERA pada jam sibuk (12:00 – 17:00 WIB). Secara spesifik, pengamatan dilakukan hanya pada *Counter* 4 (yang teridentifikasi sebagai stasiun dengan waktu proses terlama). Data dikumpulkan dengan mencatat timestamp (jam:menit:detik) dari alur pelayanan setiap pelanggan.
2. **Data Simulasi (n=10.000):** Data ini merupakan data sekunder yang di-generate oleh R. Data ini dibangkitkan menggunakan parameter (*mean* dan standar deviasi) yang diekstrak dari data primer. Jumlah sampel 10.000 dipilih berdasarkan Hukum Bilangan Besar (*Law of Large Numbers*) untuk menstabilkan variasi acak, sehingga hasil rata-rata simulasi menjadi konsisten (stabil) dan akurat dalam merepresentasikan kondisi jangka panjang.

3.2 Variabel Penelitian

Penamaan variabel observasi seperti **AT** dan **SET** merupakan penamaan internal yang digunakan dalam proses pencatatan data. Singkatan “AT” merujuk pada *Arrival Time* (waktu kejadian tertentu dicatat saat pelanggan tiba/pindah tahap), sedangkan “SET” merujuk pada *Service End Time* (waktu ketika suatu aktivitas pelayanan selesai). Variabel-variabel ini tidak termasuk metrik standar seperti IAT atau ST; namun digunakan sebagai penanda waktu mentah untuk proses pengolahan data selanjutnya.

Variabel yang diamati dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga kategori:

1. Variabel Observasi (Data Mentah):

- AT_Awal: Waktu kedatangan pelanggan di sistem.
- SET_Pesan: Waktu pelanggan selesai memesan.
- SET_Kasir: Waktu pelanggan selesai membayar di kasir.
- AT_Konfirmasi: Waktu pesanan dikonfirmasi dan mulai diproduksi oleh dapur.
- SET_Total: Waktu pelanggan menerima makanan (selesai dilayani).

2. Variabel Input (Hasil Data Munging):

- IAT (*Inter-Arrival Time*): Waktu antar kedatangan pelanggan (menit).
- ST_Kasir (*Service Time* Kasir): Durasi pelayanan di kasir (menit).
- ST_Dapur (*Service Time* Dapur): Durasi produksi makanan di dapur (menit).

3. Variabel Output (Metrik Kinerja):

- TIS (Waktu Total di Sistem): Metrik kinerja utama yang dihitung oleh fungsi simulasi. Dalam penelitian ini, TIS disederhanakan sebagai ST_Kasir + ST_Dapur untuk setiap pelanggan simulasi.

3.3 Diagram Alir (Alur Penelitian)

Alur kerja penelitian ini, yang sekaligus merepresentasikan diagram alir proses, dibagi menjadi beberapa fase komputasi sebagai berikut:

1. Fase 0.5: Munging Data (Data Wrangling)

- a. Data primer mentah (n=43) dari file `data_mentah.csv` dimuat ke R.
- b. Menggunakan *library lubridate*, data *timestamp* (karakter) diubah menjadi objek waktu (H:M:S).
- c. Dilakukan kalkulasi selisih waktu untuk mentransformasi Variabel Observasi menjadi Variabel Input (IAT, ST_Kasir, ST_Dapur) dalam satuan menit. Proses ini memenuhi topik **Teknik Munging/Wrangling** [4].

2. Fase 1: Ekstraksi Parameter Statistik

- a. Dari data hasil *munging* (Variabel Input, n=42), parameter statistik kunci dihitung: $mean(IAT)$, $sd(IAT)$, $mean(ST_Kasir)$, $sd(ST_Kasir)$, $mean(ST_Dapur)$, dan $sd(ST_Dapur)$.
- b. Hasil dari fase ini (Nilai *Mean Dapur & Mean Kasir*) digunakan sebagai dasar untuk analisis *bottleneck* dan input untuk fase simulasi.

3. Fase 2: Pengembangan Fungsi R dan Desain Skenario

- a. Sebuah fungsi kustom (`fungsi_hitung_tis`) dikembangkan di R untuk menghitung TIS berdasarkan input ST_Kasir dan ST_Dapur. Ini memenuhi topik **Pengembangan Pemrograman Fungsi R** [4].
- b. Berdasarkan temuan *bottleneck* di Fase 1, empat skenario intervensi dirancang. Penetapan besaran efisiensi (15% dan 30%) didasarkan pada prinsip manajemen operasional sebagai berikut:

- **Angka 15% (Perbaikan Ringan):** Dipilih untuk merepresentasikan optimasi prosedural tanpa biaya (*Low Cost*). Ini mensimulasikan perbaikan yang bisa dicapai hanya dengan mengubah cara kerja (SOP) atau merapikan area kerja, tanpa perlu menambah karyawan atau beli alat baru.
- **Angka 30% (Perbaikan Signifikan):** Dipilih untuk merepresentasikan intervensi investasi (*High Cost*). Angka ini mensimulasikan dampak jika manajemen mengeluarkan biaya untuk menambah jumlah karyawan atau membeli mesin yang lebih canggih.

- i. **Skenario 1 (Basis):** $mean_k_temp = \text{Mean Kasir Awal}$, $mean_d_temp = \text{Mean Dapur Awal}$

- **Dasar Pemilihan:** Skenario ini adalah simulasi kondisi "asli" tanpa perubahan. Skenario ini wajib ada sebagai Titik Acuan (*Benchmark*). Kita tidak akan tahu apakah perbaikan di skenario lain sukses atau gagal kalau kita tidak punya data kondisi awal sebagai pembandingnya.

- ii. **Skenario 2 (+Kasir):** $mean_k_temp = \text{Mean Kasir Awal} * (1 - 0.30)$

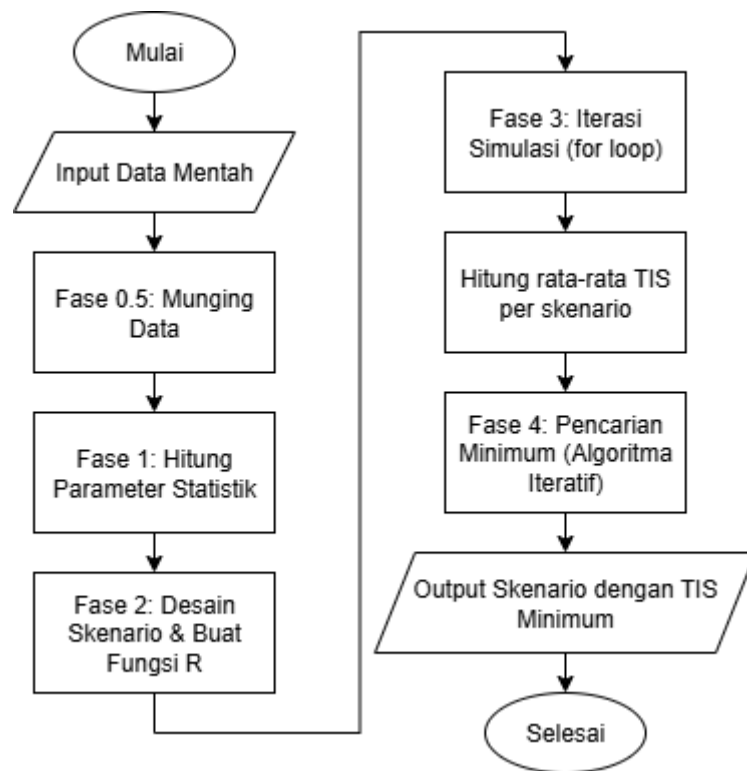
- **Dasar Pemilihan:** Skenario ini dipilih untuk menguji mitos antrian. Seringkali orang mengira antrian panjang disebabkan oleh kasir yang lambat. Skenario ini menguji: "Jika kita percepat kasir secara drastis (30%), apakah antrian total akan hilang?" Ini mewakili perbaikan pada *secondary bottleneck* (hambatan sekunder).
- iii. **Skenario 3 (Dapur -15%):** $\text{mean_d_temp} = 14.66 * (1 - 0.15)$
- **Dasar Pemilihan:** Karena Dapur adalah masalah utama (*bottleneck*), kita mulai dengan perbaikan ringan. Angka 15% dipilih untuk menjawab: "Apakah sekadar merapikan bumbu dan memperbaiki alur masak (tanpa keluar biaya nambah koki) sudah cukup untuk mengurangi keluhan pelanggan?"
- iv. **Skenario 4 (Dapur -30%):** $\text{mean_d_temp} = 14.66 * (1 - 0.30)$
- **Dasar Pemilihan:** Ini adalah skenario "solusi total". Angka 30% mewakili batas efisiensi manusia dan mesin yang realistis jika dilakukan investasi besar (tambah koki profesional). Skenario ini menguji potensi maksimal sistem: "Seberapa cepat pelayanan bisa dilakukan jika dapur didukung sumber daya penuh?"

4. Fase 3: Implementasi Algoritma Iteratif Skenario

- a. Sebuah **Algoritma Iteratif** utama (struktur *for (i in 1:4)*) digunakan untuk mengeksekusi keempat skenario secara berurutan [9].
- b. Di dalam setiap iterasi, dilakukan **Pembangkitan Bilangan Acak** [4] menggunakan `rnorm(10000, mean_temp, sd)` untuk membuat 10.000 data simulasi `ST_Kasir` dan `ST_Dapur` sesuai parameter skenario ke-i.
- c. Fungsi `fungsi_hitung_tis()` dipanggil untuk 10.000 data simulasi tersebut.
- d. Nilai `mean(TIS)` dari skenario ke-i dihitung dan disimpan dalam sebuah vektor hasil.

5. Fase 4: Implementasi Algoritma Iteratif Pencarian Minimum

- a. Setelah *loop* Fase 3 selesai, sebuah vektor ($n=4$) berisi rata-rata TIS dari setiap skenario diperoleh.
- b. **Algoritma Iteratif** kedua (modifikasi Kasus I: Pencarian Maksimum [9]) diimplementasikan. Algoritma ini meng-iterasi vektor hasil untuk membandingkan setiap elemen dan menemukan nilai TIS minimum beserta indeks skenarionya.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian Simulasi Sistem Pelayanan Kantin BKL ITERA

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Data Primer dan Identifikasi *Bottleneck*

Sebelum melangkah ke tahap simulasi, langkah pertama adalah menganalisis data mentah yang didapat dari lapangan. Proses *data munging* (Fase 0.5) yang dilakukan terhadap 43 sampel observasi menghasilkan data durasi bersih yang valid untuk variabel input. Statistik deskriptif dari data ini sangat krusial karena menjadi fondasi bagi komputer untuk "meniru" perilaku sistem antrian yang sebenarnya.

Ringkasan parameter statistik hasil pengolahan data disajikan pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1: Ringkasan Statistik Variabel Input (n=42)

Variabel	Rata-Rata (<i>Mean</i>)	Standar Deviasi (SD)	Satuan
IAT	6.99	2.23	Menit
ST_Kasir	3.51	0.89	Menit
ST_Dapur	14.86	3.68	Menit

(Sumber: Hasil olah data R, 2025)

Analisis Tabel 4.1: Dari tabel di atas, kita dapat mengidentifikasi akar masalah antrian secara jelas. Terlihat bahwa Waktu Pelayanan Dapur (14.86 menit) memakan waktu jauh lebih lama dibandingkan Waktu Pelayanan Kasir (3.51 menit).

Data ini mengonfirmasi dugaan awal bahwa Dapur adalah *bottleneck* utama (sumbatan terbesar) dalam sistem. Kasir, meskipun bekerja lebih cepat, tetap memiliki variasi waktu pelayanan yang berkontribusi pada antrian, sehingga dikategorikan sebagai *bottleneck* sekunder. Ketimpangan kecepatan antara Dapur dan Kasir inilah yang menyebabkan penumpukan pesanan: Kasir terlalu cepat menerima order, sementara Dapur kewalahan memasaknya.

4.2 Hasil Simulasi dan Analisis Skenario

Setelah parameter statistik didapatkan, algoritma iteratif (Fase 3) dijalankan. Komputer melakukan simulasi sebanyak 10.000 kali untuk setiap skenario guna memprediksi Waktu Total di Sistem (TIS) yang akan dirasakan pelanggan jika intervensi dilakukan.

Hasil rata-rata TIS dari 10.000 simulasi untuk keempat skenario dirangkum dalam Tabel 4.2 di bawah ini:

Tabel 4.2: Perbandingan Hasil Simulasi TIS Rata-rata Antar Skenario

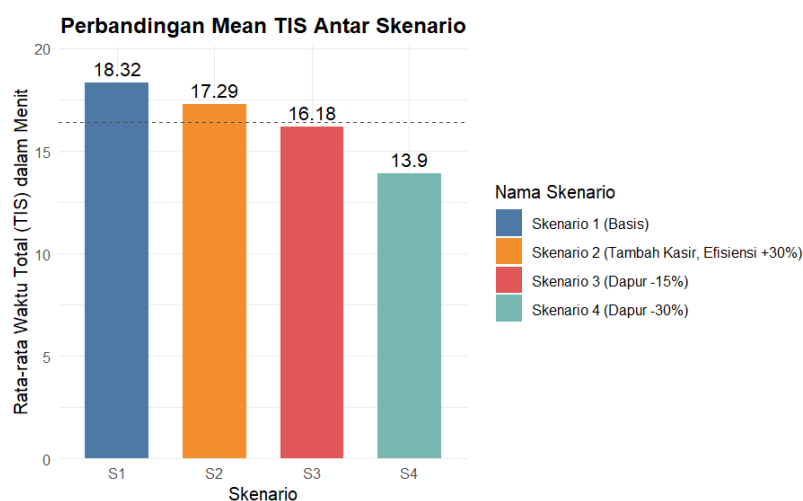
No	Skenario	Rata-rata TIS (menit)	Penurunan dari Basis
1	Basis	18.38	-
2	+Kasir (Efisiensi +30%)	17.31	1.07 Menit (5.8%)
3	Dapur -15%	16.07	2.31 Menit (12.6%)
4	Dapur -30%	13.90	4.48 Menit (24.4%)

(Sumber: Hasil olah data R, 2025)

Analisis Tabel 4.2: Tabel di atas menunjukkan perbandingan kinerja yang mencolok:

- Pada kondisi normal (**Skenario 1**), pelanggan harus menunggu rata-rata selama **18,38 menit** hingga makanan diterima.
- Ketika kita mencoba memperbaiki Kasir sebesar 30% (**Skenario 2**), waktu tunggu memang turun, tapi hanya sedikit menjadi **17,31 menit**.
- Sebaliknya, ketika perbaikan dilakukan di Dapur sebesar 30% (**Skenario 4**), waktu tunggu anjlok drastis menjadi **13,90 menit**.

Untuk mempermudah pemahaman terhadap data angka tersebut, hasil simulasi divisualisasikan ke dalam bentuk diagram batang (bar plot) pada Gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1. Perbandingan Rata-rata TIS Antar Skenario Intervensi

Penjelasan Visualisasi (Gambar 4.1): Grafik di atas merepresentasikan kinerja keempat skenario dengan kode warna yang berbeda untuk memudahkan identifikasi:

- **Batang Biru (Skenario 1):** Mewakili kondisi saat ini (*Baseline*). Ini adalah batang tertinggi, menandakan waktu tunggu paling lama.
- **Batang Oranye (Skenario 2):** Mewakili intervensi pada Kasir. Terlihat tingginya hampir sama dengan batang biru, menunjukkan bahwa mempercepat kasir tidak memberikan dampak besar pada pengurangan tinggi antrian.
- **Batang Merah (Skenario 3):** Mewakili perbaikan ringan di Dapur. Mulai terlihat penurunan tinggi batang yang cukup jelas.
- **Batang Hijau/Tosca (Skenario 4):** Mewakili perbaikan total di Dapur. Ini adalah batang terpendek, yang secara visual menegaskan bahwa ini adalah solusi dengan waktu tunggu paling cepat dan efisien.

4.3 Interpretasi Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data tabel dan visualisasi grafik di atas, kita dapat menjawab rumusan masalah penelitian secara komprehensif dan berbasis bukti komputasional.

1. **Evaluasi Kondisi Saat Ini (*Baseline*):** Sistem pelayanan Kantin BKL saat ini memiliki performa dasar TIS sebesar **18,38 menit**. Angka ini menjadi standar acuan. Artinya, setiap strategi perbaikan yang diusulkan harus mampu menghasilkan waktu di bawah angka ini agar dianggap layak.
2. **Efektivitas Intervensi: Kasir vs Dapur** Hasil simulasi memberikan pelajaran manajerial yang penting. Memperbaiki Kasir (Skenario 2) ternyata kurang efektif. Meskipun kecepatan kasir ditingkatkan secara drastis (30%), penurunan total waktu tunggu pelanggan hanya sebesar **1,07 menit**. Hal ini terjadi karena secepat apapun kasir bekerja, pelanggan tetap akan tertahan lama di antrian masak dapur.

Sebaliknya, perbaikan pada Dapur (Skenario 4) memberikan dampak yang luar biasa. Dengan besaran efisiensi yang sama (30%), intervensi di dapur mampu memangkas waktu tunggu sebesar **4,48 menit**.

3. **Rekomendasi Solusi Optimal** Secara matematis, kita dapat membandingkan efektivitas kedua strategi tersebut:
 - Penghematan waktu dari Skenario Kasir: **1,07 menit**.
 - Penghematan waktu dari Skenario Dapur: **4,48 menit**.

Dengan demikian, perbaikan di Dapur terbukti **4,19 kali lebih efektif** ($4,48 \div 1,07$) dibandingkan perbaikan di Kasir. Algoritma iteratif pencarian minimum (Fase 4) juga secara otomatis memilih **Skenario 4 (Dapur -30%)** sebagai pemenang dengan TIS terendah yaitu

13,90 menit. Oleh karena itu, manajemen Kantin BKL sangat disarankan untuk memprioritaskan investasi sumber daya (tenaga kerja atau alat) ke bagian dapur daripada kasir untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data observasi, simulasi komputasi berulang, dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh tiga kesimpulan strategis:

1. **Kinerja Dasar (*Baseline*):** Rata-rata Waktu Total di Sistem (TIS) pelanggan pada kondisi operasional saat ini (Skenario 1) adalah 18,38 menit. Angka ini menjadi acuan (*baseline*) bahwa setiap pelanggan rata-rata menghabiskan waktu hampir 20 menit hanya untuk satu kali siklus makan, angka yang tergolong tinggi untuk layanan kantin kampus.
2. **Akar Masalah (*Bottleneck*):** Hasil analisis statistik mengonfirmasi bahwa proses produksi di Dapur merupakan *bottleneck* utama. Meskipun kasir juga berkontribusi pada antrian, data menunjukkan bahwa waktu pelayanan dapur jauh lebih dominan dalam menahan laju antrian dibandingkan kasir. Ketimpangan kecepatan inilah yang menyebabkan penumpukan pesanan.
3. **Solusi Paling Optimal:** Intervensi yang difokuskan pada titik masalah utama (*bottleneck*) terbukti jauh lebih efektif daripada titik sekunder. Skenario 4 (Efisiensi Dapur -30%) berhasil menurunkan TIS sebesar 4,48 menit (24,4%) menjadi 13,90 menit. Secara komparatif, strategi perbaikan dapur ini terbukti 4,19 kali lebih efektif dibandingkan strategi perbaikan kasir (yang hanya menurunkan waktu 1,07 menit) dengan besaran upaya efisiensi yang sama.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan penelitian, berikut adalah saran taktis dan strategis yang dapat diberikan:

- **Saran Praktis (Untuk Pengelola Kantin BKL):**
 - **Prioritas Investasi:** Rekomendasi utama bagi pengelola adalah mengalihkan fokus investasi (modal dan tenaga kerja) untuk mempercepat proses di dapur, bukan menambah kasir. Menambah kasir saat dapur masih lambat hanya akan memindahkan antrian dari depan meja kasir ke meja tunggu, tanpa mempercepat waktu terima makanan.
 - **Tindakan Konkret:** Pengelola disarankan untuk mempertimbangkan penambahan asisten koki pada jam sibuk (12:00–13:00), penerapan sistem *pre-cooking* (persiapan bahan) sebelum jam makan siang, atau penyederhanaan menu yang memakan waktu masak terlalu lama.
- **Saran Akademis (Untuk Penelitian Selanjutnya):**
 - **Pengembangan Model:** Model TIS dalam penelitian ini menggunakan pendekatan aritmatika sederhana ($ST_{Kasir} + ST_{Dapur}$). Penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan model simulasi yang lebih kompleks,

seperti **Simulasi Kejadian Diskrit (*Discrete-Event Simulation*)**, yang mampu memodelkan waktu tunggu (*waiting time*) antar-stasiun secara eksplisit dan dinamis.

- **Validasi Data:** Penelitian ini menggunakan **43 sampel observasi** untuk mengekstrak parameter. Penelitian selanjutnya disarankan memperbesar jumlah sampel (misalnya >100 data) dan mengambil data di hari yang berbeda (awal bulan vs akhir bulan) untuk meningkatkan validitas statistik parameter input.
- **Perluasan Aplikasi:** Kerangka kerja (*framework*) algoritma iteratif yang telah dibangun dalam penelitian ini dapat direplikasi untuk menganalisis sistem pelayanan lain di lingkungan ITERA yang memiliki karakteristik antrian serupa, seperti layanan administrasi akademik, antrian poliklinik, atau layanan perpustakaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Gross and C. M. Harris, *Fundamentals of Queueing Theory*, 4th ed. New York: Wiley, 2018.
- [2] R. B. Chase, F. R. Jacobs, and N. J. Aquilano, *Operations Management for Competitive Advantage*, 11th ed. Boston: McGraw-Hill/Irwin, 2015.
- [3] E. M. Goldratt, *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*, 4th ed. Great Barrington, MA: North River Press, 2014.
- [4] Program Studi Sains Data ITERA, *Petunjuk Pengerjaan Tugas Besar Komputasi Statistik*, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, 2025.
- [5] R Core Team, *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024. [Online]. Available: <https://www.R-project.org/>.
- [6] H. Wickham and G. Grolemund, *R for Data Science*, 1st ed. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2017.
- [7] A. M. Law, *Simulation Modeling and Analysis*, 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [8] D. E. Knuth, *The Art of Computer Programming, Volume 1: Fundamental Algorithms*, 3rd ed. Reading, MA: Addison-Wesley, 1997.
- [9] Tim Asisten Dosen, "Modul 1: Algoritma Iteratif," Program Studi Sains Data, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, 2025.

LAMPIRAN

Untuk menjaga kerapian laporan, dokumen pendukung penelitian seperti kode pemrograman, data mentah, poster publikasi, dan materi presentasi dilampirkan dalam bentuk tautan penyimpanan awan (*cloud storage*) yang dapat diakses secara daring.

Berikut adalah rincian dan tautan akses untuk setiap dokumen lampiran:

1. Lampiran 1: Kode Program (*R Script*) Lampiran ini berisi seluruh *source code* dalam bahasa R yang digunakan untuk proses *data munging*, perhitungan statistik, hingga simulasi algoritma iteratif.

- Tautan Akses: [R_Script](#)

2. Lampiran 2: Data Mentah Observasi (.csv) Lampiran ini berisi fail `data_mentah.csv` (n=43) hasil observasi lapangan dan `data_bersih.csv` hasil proses *data munging* yang digunakan sebagai input simulasi.

- Tautan Akses: [data_mentah](#)

3. Lampiran 3: Poster Ilmiah Lampiran ini memuat poster infografis yang merangkum latar belakang, metodologi, dan hasil rekomendasi penelitian secara visual.

- Tautan Akses: [Poster](#)

4. Lampiran 4: Slide Presentasi (PPT) Lampiran ini memuat materi presentasi (*PowerPoint*) yang digunakan untuk memaparkan hasil penelitian di hadapan audiens.

- Tautan Akses: [PPT](#)

5. Tautan Folder Repositori Lengkap Seluruh berkas di atas juga dapat diakses sekaligus melalui satu folder utama pada tautan berikut:

- Tautan Folder: [Repository](#)