



IDENTIFIKASI *BOTTLENECK* SIRKULASI BUKU PERPUSTAKAAN SEKOLAH MENGGUNAKAN MODEL *SYSTEM DYNAMICS*

Dimas Akmarul Putera¹⁾, Arief Andika Putra²⁾, Tania Alda³⁾, Abdul Mutalib bin Leman⁴⁾, Anastasia⁵⁾, Erica⁶⁾, Friyanti Phang⁷⁾, Sari Rahmiati⁸⁾

^{1,5,6,7,8)} Manajemen Rekayasa, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Batam

^{1,2)} Laboratorium Rekayasa Industri Terintegrasi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Batam

³⁾ Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

^{1,4)} Faculty of Engineering Technology, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia

Corresponding Author E-mail: dimas.a.p@iteba.ac.id

ABSTRAK

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi bottleneck struktural dalam sistem sirkulasi buku perpustakaan sekolah menggunakan pendekatan *System Dynamics*. Permasalahan sirkulasi buku tidak hanya berkaitan dengan jumlah koleksi atau tingkat kunjungan siswa, tetapi juga dipengaruhi oleh ketidakseimbangan antara laju peminjaman dan laju pengembalian buku. Data operasional perpustakaan selama 36 periode pengamatan digunakan untuk memodelkan interaksi antara tingkat kunjungan, laju peminjaman, laju pengembalian, keterlambatan pengembalian, sanksi, dan ketersediaan buku. Pemodelan dilakukan melalui penyusunan struktur kausal, pengembangan model *stock and flow*, dan simulasi menggunakan AnyLogic. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bottleneck utama terletak pada subsistem pengembalian buku. Keterlambatan pengembalian memperpanjang durasi peminjaman, memperlambat aliran buku kembali ke stok tersedia, dan menyebabkan ketersediaan buku berperilaku fluktuatif. Validasi model menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* menghasilkan nilai rata-rata MAPE sebesar 18,24%, yang menunjukkan bahwa model memiliki tingkat kesesuaian yang dapat diterima untuk analisis perilaku sistem secara agregat dan eksploratif. Temuan ini memberikan dasar analitis bagi pengelola perpustakaan sekolah untuk memperkuat mekanisme pengembalian, pengingat jatuh tempo, pengendalian durasi peminjaman, dan penerapan sanksi yang lebih terstruktur.

Kata kunci: *Bottleneck System*, Perpustakaan Sekolah, Sirkulasi Buku, Sistem Dinamis

Abstract. This study aims to identify structural bottlenecks in the book circulation system of a school library using a *System Dynamics* approach. Book circulation problems are not only related to the number of collections or student visits, but also to the imbalance between borrowing and returning rates. Operational library data collected over 36 observation periods were used to model the interactions among visitor level, borrowing rate, return rate, late return, sanction mechanism, and book availability. The modelling process involved the development of a causal structure, a *stock and flow* model, and simulation using AnyLogic. The results indicate that the main bottleneck occurs in the book return subsystem. Late returns extend borrowing duration, slow the flow of books back into the available stock, and cause book availability to fluctuate over time. Model validation using *Mean Absolute Percentage Error* produced an average MAPE value of 18.24%, indicating that the model provides an acceptable level of fit for aggregate and exploratory system behaviour analysis. These findings provide an analytical basis for school library managers to strengthen return mechanisms, due-date reminders, borrowing duration control, and more structured sanction policies.

Keywords: *Bottleneck System*, School Library, Book Circulation, System Dynamic

1. PENDAHULUAN



Perpustakaan sekolah memiliki peran strategis dalam mendukung proses pembelajaran melalui penyediaan sumber belajar yang berkelanjutan [1]. Kinerja layanan perpustakaan sangat ditentukan oleh kelancaran sistem sirkulasi buku, khususnya pada proses peminjaman dan pengembalian. Ketidakseimbangan dalam sistem sirkulasi, seperti tingginya tingkat keterlambatan pengembalian, dapat berdampak langsung pada menurunnya ketersediaan buku di rak dan membatasi akses siswa terhadap sumber bacaan yang dibutuhkan [2].

Kondisi tersebut tercermin pada data operasional perpustakaan sekolah yang dianalisis dalam rentang waktu 36 bulan. Hasil pengamatan menunjukkan adanya fluktuasi jumlah pengunjung yang berada pada kisaran 120 hingga 155 siswa per periode, disertai dengan dinamika jumlah koleksi buku yang bergerak antara 520 hingga 590 eksemplar. Namun, dinamika permintaan dan ketersediaan tersebut tidak diimbangi oleh kelancaran proses sirkulasi buku. Pola sirkulasi memperlihatkan ketidakseimbangan yang konsisten, di mana volume peminjaman relatif rendah, yakni berkisar antara 3 hingga 5 buku per periode, sementara tingkat keterlambatan pengembalian justru tercatat jauh lebih tinggi dan mencapai 10 hingga 15 buku. Ketimpangan ini menunjukkan bahwa sebagian besar buku cenderung tertahan lebih lama di tangan peminjam, sehingga aliran buku kembali ke sistem berjalan lebih lambat dibandingkan aliran keluar.

Dalam jangka menengah, kondisi tersebut berpotensi menimbulkan efek akumulatif terhadap kinerja layanan perpustakaan [3]. Penumpukan keterlambatan pengembalian tidak hanya mengurangi ketersediaan koleksi secara aktual, tetapi juga membatasi fleksibilitas sistem dalam merespons fluktuasi permintaan pengguna. Ketika stok buku yang tersedia tidak mampu mengikuti pola kunjungan yang relatif stabil, sistem sirkulasi menjadi rentan terhadap kemacetan struktural yang sulit diidentifikasi melalui pengamatan statistik sederhana. Oleh karena itu, permasalahan keterlambatan pengembalian tidak dapat dipahami sebagai fenomena insidental, melainkan sebagai indikasi adanya *bottleneck* yang terbentuk dari interaksi dinamis antara perilaku pengguna dan struktur operasional sistem [4].

Sebagian besar pengelolaan perpustakaan sekolah masih bertumpu pada pencatatan statistik deskriptif untuk memantau aktivitas operasional,

seperti jumlah kunjungan, total koleksi, dan frekuensi transaksi peminjaman [5]. Pendekatan ini umumnya digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja layanan, namun hanya mampu menggambarkan kondisi sistem secara parsial dan statis. Informasi yang dihasilkan bersifat permukaan dan tidak memberikan gambaran mengenai bagaimana variabel-variabel tersebut saling berinteraksi serta membentuk perilaku sistem dalam jangka waktu tertentu. Akibatnya, permasalahan yang muncul dalam operasional perpustakaan sering dipersepsikan sebagai fluktuasi normal, tanpa disertai pemahaman terhadap struktur penyebab yang mendasarinya [6].

Keterbatasan pendekatan tersebut menjadi krusial ketika sistem menghadapi ketidakseimbangan yang bersifat berulang dan kumulatif, seperti keterlambatan pengembalian buku yang terus meningkat. Tanpa analisis hubungan sebab-akibat yang bersifat dinamis, titik kemacetan (*bottleneck*) dalam sistem sirkulasi buku cenderung tidak teridentifikasi secara eksplisit [7]. Kondisi ini mendorong pengambilan keputusan yang bersifat reaktif, misalnya melalui pengetatan aturan atau penambahan koleksi secara sporadis, tanpa menyentuh akar permasalahan struktural [8]. Dalam jangka panjang, kebijakan semacam ini berpotensi gagal memperbaiki kinerja sistem secara berkelanjutan karena tidak didasarkan pada pemahaman menyeluruh terhadap dinamika internal sistem sirkulasi buku.

Penelitian sebelumnya terkait perpustakaan sekolah umumnya lebih banyak menitikberatkan pada aspek kualitas layanan, ketersediaan koleksi, literasi pengguna, serta penerapan sistem informasi perpustakaan [9]. Sementara itu, studi berbasis *System Dynamics* umumnya digunakan untuk menganalisis sistem persediaan, layanan, manufaktur, lingkungan, dan kebijakan publik, namun masih terbatas penerapannya untuk mengidentifikasi *bottleneck* struktural dalam sistem sirkulasi buku perpustakaan sekolah. Dengan demikian, masih terdapat celah penelitian dalam memahami bagaimana interaksi antara kunjungan pengguna, peminjaman, pengembalian, keterlambatan, dan mekanisme sanksi membentuk pola kemacetan sistem secara dinamis. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan mengembangkan model *System Dynamics* yang memetakan hubungan sebab-akibat, struktur *stock and flow*, serta validasi perilaku sistem untuk mengidentifikasi sumber



bottleneck pada sirkulasi buku perpustakaan sekolah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi bottleneck struktural dalam sistem sirkulasi buku perpustakaan sekolah melalui pemodelan berbasis *System Dynamics*. Fokus analisis diarahkan pada interaksi dinamis antara tingkat kunjungan pengguna, ketersediaan koleksi, dan keterlambatan pengembalian sebagai faktor utama yang memengaruhi kinerja sistem sirkulasi buku.

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada pengembangan model *System Dynamics* untuk mengidentifikasi bottleneck struktural dalam sistem sirkulasi buku perpustakaan sekolah. Berbeda dari pendekatan evaluasi perpustakaan yang umumnya bersifat deskriptif, penelitian ini menelusuri mekanisme penyebab kemacetan melalui hubungan kausal, struktur umpan balik, serta perubahan stok dan aliran buku dari waktu ke waktu. Model yang dikembangkan juga divalidasi menggunakan MAPE sehingga dapat memberikan dasar analitis yang lebih kuat bagi pengelola perpustakaan dalam merancang kebijakan pengendalian keterlambatan pengembalian dan peningkatan ketersediaan koleksi.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain *quantitative case-based simulation study* dengan pendekatan eksploratif terhadap perilaku sistem [10]. Fokus penelitian diarahkan untuk memahami dinamika internal sistem sirkulasi buku perpustakaan sekolah serta mengidentifikasi *bottleneck* struktural yang memengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan. Pendekatan ini tidak ditujukan untuk mengoptimasi kebijakan tertentu, melainkan untuk mengeksplorasi bagaimana interaksi antar variabel membentuk pola perilaku sistem dalam jangka menengah.

Pendekatan simulasi berbasis *System Dynamics* dipilih karena mampu merepresentasikan sistem layanan yang bersifat kompleks, melibatkan akumulasi, aliran, serta mekanisme umpan balik yang berkembang dari waktu ke waktu [11]. Dengan pendekatan ini, perilaku sistem dapat dianalisis secara menyeluruh tanpa memisahkan variabel secara parsial [12].

2.2. Data dan Variabel Penelitian

Data yang digunakan merupakan data sekunder dari catatan operasional perpustakaan sekolah selama 36 bulan pengamatan dengan objek penelitian adalah perpustakaan SMA. Data mencakup jumlah kunjungan siswa, jumlah koleksi tersedia, jumlah buku yang dipinjam, jumlah buku yang dikembalikan, jumlah keterlambatan pengembalian, serta jumlah penerapan sanksi pada setiap periode pengamatan. Identitas sekolah tidak disebutkan secara eksplisit untuk menjaga kerahasiaan institusi.

Variabel utama yang dimodelkan meliputi tingkat kunjungan pengguna, jumlah koleksi buku, volume peminjaman, serta tingkat keterlambatan pengembalian buku. Variabel keterlambatan pengembalian diposisikan sebagai variabel kunci karena secara langsung memengaruhi kelancaran aliran buku kembali ke dalam sistem dan berpotensi membentuk *bottleneck* struktural. Selain itu, variabel sanksi dipertahankan sebagai variabel dinamis pendukung yang merepresentasikan mekanisme pengendalian perilaku pengguna dalam sistem.

2.3. Pemodelan *System Dynamics*

Tahap pemodelan diawali dengan penyusunan *Causal Loop Diagram* (CLD) untuk memetakan hubungan sebab-akibat antar variabel utama dalam sistem sirkulasi buku [13]. CLD digunakan untuk mengidentifikasi struktur umpan balik yang bersifat memperkuat (*reinforcing loop*) maupun menyeimbang (*balancing loop*), khususnya yang berkaitan dengan keterlambatan pengembalian dan ketersediaan koleksi buku. Diagram ini berperan sebagai alat konseptual untuk menelusuri sumber kemacetan (*bottleneck*) dalam sistem.

Selanjutnya, CLD diterjemahkan ke dalam model *stock and flow* guna merepresentasikan akumulasi dan aliran buku secara kuantitatif. Variabel stok merepresentasikan ketersediaan koleksi buku, sedangkan variabel aliran menggambarkan proses peminjaman dan pengembalian [14]. Parameter laju aliran ditentukan berdasarkan karakteristik data historis yang telah dianalisis, sehingga model mampu mencerminkan perilaku sistem yang mendekati kondisi empiris. Proses simulasi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak AnyLogic sebagai media implementasi model. AnyLogic digunakan karena mendukung pemodelan berbasis *System Dynamics* melalui representasi *stock and flow*, hubungan umpan balik, pengaturan parameter dinamis, serta simulasi perilaku sistem sepanjang periode waktu tertentu [15]. Perangkat lunak ini juga memungkinkan perbandingan antara hasil simulasi



dan data aktual untuk mendukung proses validasi model. Untuk asumsi model dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Asumsi Model dan Keterangan

Asumsi Model	Penjelasan
Satuan waktu simulasi	1 periode mewakili 1 bulan pengamatan
Sistem sirkulasi	Buku keluar melalui proses peminjaman dan kembali melalui proses pengembalian
Stok awal	Mengacu pada jumlah buku tersedia pada periode awal pengamatan
Keterlambatan	Keterlambatan pengembalian memperpanjang durasi buku berada di luar sistem
Sanksi	Sanksi diposisikan sebagai mekanisme pengendalian perilaku pengguna
Kehilangan/kerusakan buku	Tidak dimodelkan secara eksplisit atau diasumsikan konstan

Untuk persamaan modelnya dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Book_Availability(t) &= Book_Availability(t - dt) \\
 &+ (Return_Rate \\
 &- Borrowing_Rate) \times dt \\
 Borrowing_Rate &= f(Visitor_Level, Reading_Interest, \\
 &Facility_Comfort, Book_Availability) \\
 Return_Rate &= f(Borrowing_Duration, Late_Return, \\
 &Compliance_Level) \\
 Late_Return &= f(Borrowing_Duration, Regulation_Strictness, \\
 &Sanction)
 \end{aligned}$$

2.4. Verifikasi dan Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa perilaku sistem hasil simulasi memiliki tingkat kesesuaian yang memadai dengan kondisi empiris. Metode validasi yang digunakan adalah *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dengan fokus pada variabel keterlambatan pengembalian sebagai variabel kunci yang merepresentasikan *bottleneck* sistem [16]. Pemilihan variabel ini didasarkan pada perannya yang paling signifikan dalam memengaruhi kinerja sirkulasi buku secara keseluruhan. Untuk rumus MAPE dapat dilihat sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left| \frac{y_n - \hat{y}_n}{y_n} \right|$$

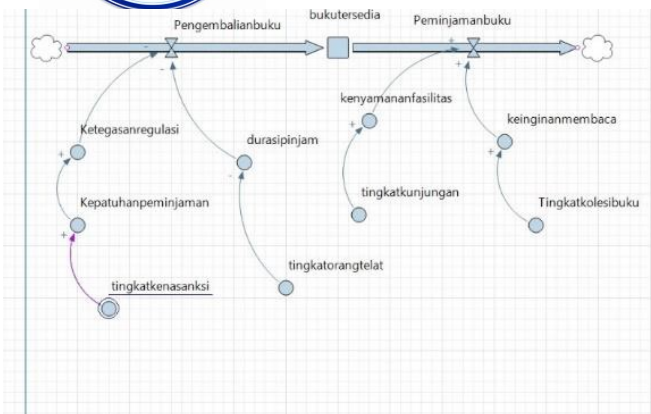
Nilai MAPE dihitung dengan membandingkan hasil simulasi dan data aktual pada periode pengamatan yang sama. Tingkat kesalahan yang diperoleh digunakan sebagai indikator kelayakan model dalam merepresentasikan perilaku sistem. Model dinyatakan valid apabila nilai kesalahan berada dalam kategori yang dapat diterima untuk analisis perilaku sistem dan eksplorasi struktur penyebab *bottleneck*.

Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dan data aktual pada beberapa variabel utama, yaitu tingkat kunjungan, laju peminjaman, laju pengembalian, keterlambatan pengembalian, dan sanksi. Variabel keterlambatan pengembalian digunakan sebagai fokus interpretasi karena berperan sebagai indikator utama *bottleneck* sistem.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Struktur Sistem Sirkulasi Buku

Untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai struktur dan hubungan antarvariabel dalam sistem yang dianalisis, model sistem sirkulasi buku perpustakaan direpresentasikan melalui pendekatan *System Dynamics*. Struktur model disusun untuk menjelaskan bagaimana proses peminjaman, pengembalian, keterlambatan, dan ketersediaan buku saling memengaruhi dalam satu kesatuan sistem. Visualisasi model pada Gambar 1 digunakan sebagai dasar untuk menelusuri hubungan sebab-akibat antarvariabel serta memahami mekanisme umpan balik yang membentuk perilaku sistem sirkulasi buku..



Gambar 1. Model dinamis sistem sirkulasi buku perpustakaan berbasis *System Dynamics*

Secara umum, sistem sirkulasi buku dalam penelitian ini terdiri atas dua subsistem utama, yaitu subsistem peminjaman buku dan subsistem pengembalian buku. Subsistem peminjaman menggambarkan aliran buku keluar dari stok tersedia melalui aktivitas peminjaman oleh siswa. Variabel yang memengaruhi subsistem ini meliputi tingkat kunjungan siswa, ketersediaan koleksi buku, kenyamanan fasilitas, dan keinginan membaca. Semakin tinggi tingkat kunjungan dan minat membaca, semakin besar potensi terjadinya peningkatan laju peminjaman buku. Namun, peningkatan laju peminjaman juga berimplikasi pada berkurangnya jumlah buku yang tersedia di rak.

Subsistem pengembalian menggambarkan aliran buku yang kembali masuk ke dalam stok tersedia. Subsistem ini dipengaruhi oleh durasi peminjaman, tingkat keterlambatan pengembalian, kepatuhan pengguna, sanksi, dan ketegasan regulasi. Dalam struktur model, keterlambatan pengembalian menjadi variabel penting karena dapat memperpanjang durasi buku berada di luar sistem. Kondisi tersebut menyebabkan laju pengembalian menjadi lebih lambat, sehingga proses pemulihan stok buku tidak dapat berlangsung secara optimal.

Berdasarkan struktur kausal yang dibangun, terdapat beberapa mekanisme umpan balik yang memengaruhi perilaku sistem. Mekanisme pertama adalah hubungan antara peminjaman buku dan ketersediaan stok. Ketika laju peminjaman meningkat, jumlah buku tersedia menurun. Penurunan ketersediaan buku selanjutnya dapat membatasi jumlah buku yang dapat dipinjam pada periode berikutnya. Hubungan ini membentuk mekanisme penyeimbang dalam sistem.

Mekanisme kedua berkaitan dengan keterlambatan pengembalian. Ketika tingkat keterlambatan meningkat, durasi peminjaman cenderung menjadi lebih panjang. Akibatnya, laju pengembalian buku ke dalam sistem menjadi lebih lambat dan stok buku tersedia sulit pulih secara konsisten. Hubungan ini menunjukkan adanya tekanan struktural pada subsistem pengembalian yang dapat mengganggu keseimbangan sirkulasi buku.

Mekanisme ketiga berkaitan dengan peran sanksi dan ketegasan regulasi. Sanksi diposisikan sebagai mekanisme pengendalian yang dapat mendorong peningkatan kepatuhan pengguna dalam mengembalikan buku. Peningkatan kepatuhan diharapkan dapat mempercepat laju pengembalian dan membantu menjaga ketersediaan buku. Namun, pengaruh sanksi bekerja melalui proses perilaku pengguna, sehingga dampaknya tidak selalu langsung terlihat dalam jangka pendek.

Rangkuman hubungan kausal utama dalam model dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Hubungan tersebut menunjukkan bahwa struktur sistem sirkulasi buku tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah kunjungan atau volume peminjaman, tetapi juga oleh keterlambatan pengembalian dan efektivitas mekanisme pengendalian. Oleh karena itu, struktur model ini menjadi dasar untuk mengidentifikasi sumber hambatan dalam sistem sirkulasi buku pada bagian berikutnya.

Tabel 2. Hubungan Kausal Utama dalam Sistem Sirkulasi Buku

No.	Hubungan Kausal	Polaritas	Interpretasi
1	Tingkat kunjungan siswa → Laju peminjaman buku	+	Semakin tinggi kunjungan siswa, semakin besar potensi peminjaman buku.
2	Keinginan membaca → Laju peminjaman buku	+	Minat membaca yang lebih tinggi mendorong peningkatan peminjaman.



3	Laju peminjaman buku → Buku tersedia	-	Peningkatan peminjaman mengurangi jumlah buku yang tersedia di rak.
4	Buku tersedia → Laju peminjaman buku	+	Ketersediaan buku yang lebih tinggi memungkinkan aktivitas peminjaman meningkat.
5	Keterlambatan pengembalian → Durasi peminjaman	+	Keterlambatan membuat buku tertahan lebih lama di tangan peminjam.
6	Durasi peminjaman → Laju pengembalian buku	-	Durasi peminjaman yang lebih panjang memperlambat pengembalian buku.
7	Laju pengembalian buku → Buku tersedia	+	Pengembalian buku meningkatkan stok buku yang tersedia.
8	Sanksi → Kepatuhan pengguna	+	Penerapan sanksi mendorong pengguna lebih patuh dalam mengembalikan buku.
9	Kepatuhan pengguna → Keterlambatan pengembalian	-	Kepatuhan yang lebih tinggi menurunkan tingkat keterlambatan pengembalian.

Tabel 3. Struktur Umpan Balik dalam Model Sistem Sirkulasi Buku

Loo p	Jenis	Struktur Hubungan	Makna Sistem
-------	-------	-------------------	--------------

B1	<i>Balancing loop</i>	Buku tersedia → Peminjaman buku → Buku tersedia	Peningkatan peminjaman mengurangi stok buku, sehingga sistem membatasi kapasitas peminjaman berikutnya.
R1	<i>Reinforcing loop</i>	Keterlambatan pengembalian → Durasi peminjaman → Penurunan laju pengembalian → Penurunan buku tersedia	Keterlambatan memperkuat hambatan aliran buku kembali ke stok.
B2	<i>Balancing loop</i>	Sanksi → Kepatuhan pengguna → Penurunan keterlambatan → Peningkatan laju pengembalian	Sanksi berfungsi sebagai mekanisme pengendalian untuk mengurangi keterlambatan.

3.2. Identifikasi *Bottleneck* Sistem Sirkulasi Buku

Berdasarkan struktur kausal dan mekanisme umpan balik yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, *bottleneck* utama dalam sistem sirkulasi buku teridentifikasi pada subsistem pengembalian buku. Identifikasi *bottleneck* dilakukan dengan menelusuri bagian sistem yang menyebabkan perlambatan aliran buku kembali ke stok tersedia. Dalam model *stock and flow*, kondisi *bottleneck* ditunjukkan oleh ketidakseimbangan antara laju peminjaman sebagai *outflow* dan laju pengembalian sebagai *inflow*. Ketika laju pengembalian tidak mampu mengimbangi laju peminjaman secara konsisten, stok buku tersedia mengalami tekanan dan sistem menjadi sulit mencapai kondisi seimbang.



Subsistem peminjaman menunjukkan respons yang relatif cepat terhadap perubahan tingkat kunjungan, ketersediaan koleksi, dan keinginan membaca. Ketika jumlah pengunjung meningkat dan buku masih tersedia, proses peminjaman dapat terjadi secara langsung. Sebaliknya, subsistem pengembalian memiliki karakteristik respons yang lebih lambat karena dipengaruhi oleh perilaku pengguna, durasi peminjaman, tingkat kepatuhan, keterlambatan pengembalian, serta efektivitas sanksi. Perbedaan kecepatan respons antara kedua subsistem ini menjadi salah satu penyebab utama terbentuknya bottleneck pada sistem sirkulasi buku.

Keterlambatan pengembalian berperan sebagai variabel kunci dalam pembentukan bottleneck. Peningkatan keterlambatan menyebabkan durasi buku berada di luar sistem menjadi lebih panjang. Akibatnya, laju pengembalian buku ke rak menjadi lebih lambat, sementara proses peminjaman tetap berlangsung mengikuti kebutuhan pengguna. Kondisi ini menghasilkan akumulasi tekanan pada stok buku tersedia karena jumlah buku yang keluar dari sistem lebih cepat dibandingkan jumlah buku yang kembali.

Bottleneck dalam sistem ini tidak disebabkan oleh satu variabel tunggal, melainkan terbentuk dari interaksi antara keterlambatan pengembalian, durasi peminjaman, laju pengembalian, dan ketersediaan buku. Meskipun mekanisme sanksi dan ketegasan regulasi telah dimasukkan ke dalam model sebagai instrumen pengendalian, pengaruhnya tidak selalu langsung mampu menurunkan keterlambatan pengembalian. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme pengendalian bekerja melalui perubahan perilaku pengguna, sehingga terdapat jeda waktu sebelum dampaknya terlihat pada peningkatan laju pengembalian.

Dengan demikian, bottleneck utama sistem sirkulasi buku bukan terletak pada tingginya tingkat kunjungan atau aktivitas peminjaman, melainkan pada lambatnya proses pengembalian buku ke dalam stok tersedia. Keterlambatan pengembalian menyebabkan aliran masuk buku tertahan, memperpanjang durasi peminjaman, dan menghambat pemulihan stok. Kondisi ini menjelaskan mengapa sistem dapat tetap mengalami tekanan meskipun jumlah koleksi dan tingkat kunjungan berada dalam rentang yang relatif stabil.

Tabel 4. Struktur Umpan Balik dalam Model Sistem Sirkulasi Buku

Indikator	Kondisi yang Diamati	Implikasi terhadap Sistem
Ketidakeimbangan <i>inflow</i> dan <i>outflow</i>	Laju pengembalian lebih lambat dibandingkan laju peminjaman	Stok buku tersedia sulit pulih secara konsisten
Keterlambatan pengembalian	Buku tertahan lebih lama di tangan peminjam	Durasi peminjaman meningkat
Durasi peminjaman	Waktu buku berada di luar sistem menjadi lebih panjang	Aliran buku kembali ke rak menjadi lambat
Efektivitas sanksi	Sanksi bekerja melalui perubahan kepatuhan pengguna	Dampak pengendalian tidak langsung terlihat
Ketersediaan buku	Stok mengalami fluktuasi dan tekanan	Sistem rentan terhadap kemacetan sirkulasi

Untuk memperjelas dampak bottleneck tersebut terhadap perilaku sistem, bagian berikutnya menyajikan hasil simulasi yang menggambarkan dinamika ketersediaan buku, laju peminjaman, laju pengembalian, dan keterlambatan pengembalian selama periode pengamatan.

3.3. Perilaku Sistem Hasil Simulasi

Hasil simulasi menunjukkan bahwa bottleneck pada subsistem pengembalian memberikan pengaruh terhadap perilaku sistem sirkulasi buku. Perilaku utama yang diamati meliputi perubahan ketersediaan buku, ketidakseimbangan antara laju peminjaman dan laju pengembalian, serta keterlambatan pengembalian buku. Berdasarkan hasil simulasi, stok buku tersedia menunjukkan pola fluktuatif menurun, yang mengindikasikan bahwa sistem

belum mampu memulihkan ketersediaan buku secara konsisten.

Ketidakeimbangan tersebut terutama disebabkan oleh perbedaan antara laju peminjaman dan laju pengembalian. Laju peminjaman berada pada kisaran 12–15 buku per periode, sedangkan laju pengembalian berada pada kisaran 10–13 buku per periode. Kondisi ini menunjukkan bahwa aliran buku keluar dari sistem cenderung lebih besar dibandingkan aliran buku yang kembali ke rak. Akibatnya, stok buku tersedia mengalami tekanan secara berulang.

Selain itu, tingkat keterlambatan pengembalian berada pada kisaran 10–15 siswa per periode. Keterlambatan ini menyebabkan buku tertahan lebih lama di tangan peminjam dan memperpanjang durasi peminjaman. Meskipun terdapat mekanisme sanksi pada kisaran 3–5 siswa per periode, pengaruhnya belum cukup kuat untuk sepenuhnya menetralkan dampak keterlambatan pengembalian terhadap laju pengembalian buku.

Ringkasan perilaku sistem hasil simulasi disajikan pada Tabel 5. Tabel tersebut menunjukkan bahwa ketidakstabilan sistem tidak terutama disebabkan oleh tingginya tingkat peminjaman, melainkan oleh lambatnya aliran buku kembali ke dalam stok tersedia. Dengan demikian, hasil simulasi memperkuat temuan bahwa bottleneck utama berada pada subsistem pengembalian buku.

Tabel 5. Struktur Umpan Balik dalam Model Sistem Sirkulasi Buku

Indikator Sistem	Pola yang Teramati	Implikasi terhadap Sistem
Buku tersedia	Fluktuatif menurun	Stok buku tidak pulih secara konsisten
Laju peminjaman	12–15 buku/periode	Aliran buku keluar relatif lebih cepat
Laju pengembalian	10–13 buku/periode	Aliran buku masuk belum mampu mengimbangi peminjaman
Keterlambatan pengembalian	10–15 siswa/periode	Durasi buku berada di luar sistem

		semakin panjang
Sanksi	3–5 siswa/periode	Mekanisme kontrol ada, tetapi belum cukup kuat

Karena fokus penelitian ini adalah identifikasi *bottleneck* struktural, interpretasi perilaku sistem diarahkan pada pola hubungan antarvariabel dan ketidakseimbangan aliran, bukan pada prediksi numerik jangka panjang secara presisi.

3.4 Validasi Model dengan MAPE

Validasi model dilakukan untuk menilai tingkat kesesuaian antara hasil simulasi dan data aktual pada variabel utama sistem. Metode yang digunakan adalah MAPE, yaitu ukuran kesalahan rata-rata dalam bentuk persentase antara nilai aktual dan nilai hasil simulasi. Dalam penelitian ini, MAPE digunakan untuk mengevaluasi apakah model yang dibangun mampu merepresentasikan pola perilaku sistem sirkulasi buku secara memadai.

Berdasarkan hasil validasi, nilai MAPE pada variabel utama sistem berada pada kisaran 17,99% hingga 18,56%. Tingkat kunjungan siswa memiliki nilai MAPE sebesar 18,37%, laju peminjaman buku sebesar 18,05%, laju pengembalian buku sebesar 18,56%, keterlambatan pengembalian sebesar 18,56%, dan penerapan sanksi sebesar 17,99%. Rata-rata MAPE model sebesar 18,24%, yang menunjukkan bahwa model memiliki tingkat kesesuaian yang dapat diterima untuk menggambarkan perilaku sistem sirkulasi buku.

Hasil validasi ini menunjukkan bahwa model tidak dimaksudkan untuk menghasilkan prediksi numerik yang sepenuhnya presisi, melainkan untuk merepresentasikan pola perilaku sistem dan mengidentifikasi struktur penyebab bottleneck. Dengan nilai rata-rata MAPE sebesar 18,24%, model dinilai cukup representatif untuk digunakan dalam analisis eksploratif terhadap ketidakseimbangan antara laju peminjaman, laju pengembalian, dan keterlambatan pengembalian buku.

Meskipun demikian, interpretasi hasil validasi tetap perlu dilakukan secara hati-hati. Variabel buku tersedia diperlakukan sebagai variabel stok hasil akumulasi dari laju peminjaman dan laju pengembalian, sehingga validasi utama difokuskan pada variabel aliran dan variabel perilaku yang



memiliki data pembandingan. Oleh karena itu, nilai MAPE dalam penelitian ini digunakan sebagai indikator kesesuaian model terhadap pola sistem,

bukan sebagai ukuran tunggal untuk menyatakan akurasi prediksi jangka panjang.

Tabel 5. Struktur Umpan Balik dalam Model Sistem Sirkulasi Buku

Kategori	Variabel	Nilai Rata-rata / Pola	MAPE (%)	Interpretasi
KPI utama	Tingkat kunjungan siswa	135–140 siswa/periode	18,37	Model mampu merepresentasikan beban kunjungan sistem.
KPI utama	Laju peminjaman buku	12–15 buku/periode	18,05	Model cukup sesuai dalam menggambarkan aliran buku keluar dari stok.
KPI utama	Laju pengembalian buku	10–13 buku/periode	18,56	Model cukup sesuai dalam menggambarkan aliran buku kembali ke sistem.
Variabel dinamis	Buku tersedia	Fluktuatif menurun	Tidak dihitung	Variabel stok hasil akumulasi dari laju peminjaman dan pengembalian.
Variabel dinamis	Keterlambatan pengembalian	10–15 siswa/periode	18,56	Model mampu menangkap pola keterlambatan sebagai indikator bottleneck.
Variabel dinamis	Penerapan sanksi	3–5 siswa/periode	17,99	Model cukup sesuai dalam menggambarkan mekanisme pengendalian.
Rata-rata	Total MAPE model	-	18,24	Model memiliki tingkat kesesuaian yang dapat diterima untuk analisis perilaku sistem.

3.5 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa permasalahan utama dalam sistem sirkulasi buku bukan hanya disebabkan oleh jumlah koleksi atau tingkat kunjungan siswa, tetapi oleh ketidakseimbangan antara laju peminjaman dan laju pengembalian. Dalam perspektif *System Dynamics*, kondisi ini menunjukkan bahwa aliran buku keluar dari stok tersedia berlangsung lebih cepat dibandingkan aliran buku yang kembali ke sistem. Akibatnya, stok buku mengalami tekanan secara berulang dan sulit mencapai kondisi stabil. Bottleneck utama teridentifikasi pada subsistem pengembalian buku. Keterlambatan pengembalian menyebabkan buku tertahan lebih lama di tangan peminjam, memperpanjang durasi peminjaman, dan memperlambat pemulihan stok. Kondisi ini menunjukkan bahwa keterlambatan pengembalian berperan sebagai *delay* dalam sistem. Keberadaan *delay* tersebut menyebabkan respons sistem menjadi lambat dan fluktuatif, meskipun mekanisme pengendalian seperti sanksi telah diterapkan.

Mekanisme sanksi memiliki peran penting sebagai instrumen pengendalian perilaku pengguna. Namun, sanksi tidak secara langsung menambah stok buku, melainkan bekerja melalui peningkatan kepatuhan siswa. Oleh karena itu, efektivitas sanksi sangat bergantung pada konsistensi penerapan aturan, sistem pencatatan keterlambatan, dan pengingat batas waktu pengembalian. Tanpa pengendalian yang konsisten, keterlambatan pengembalian tetap berpotensi menahan aliran buku kembali ke rak.

Implikasi dari temuan ini adalah bahwa perbaikan sistem sirkulasi buku tidak cukup dilakukan hanya melalui penambahan koleksi. Penambahan koleksi dapat meningkatkan kapasitas stok, tetapi tidak menyelesaikan akar masalah apabila proses pengembalian tetap lambat. Strategi yang lebih tepat adalah memperkuat mekanisme pengembalian, membatasi durasi peminjaman untuk koleksi dengan permintaan tinggi, menerapkan pengingat jatuh tempo, dan meningkatkan kepatuhan pengguna [17].

Dengan demikian, pendekatan *System Dynamics* membantu menjelaskan bahwa



keterlambatan pengembalian bukan sekadar masalah administratif, melainkan bagian dari struktur sistem yang memengaruhi keseimbangan sirkulasi buku. Model ini memberikan dasar analitis bagi pengelola perpustakaan sekolah untuk memahami sumber kemacetan dan merancang kebijakan pengelolaan sirkulasi yang lebih tepat sasaran. Namun, model ini masih bersifat agregat dan belum mempertimbangkan faktor seperti jenis buku, popularitas koleksi, kehilangan buku, kerusakan koleksi, serta perbedaan karakteristik pengguna. Faktor-faktor tersebut dapat dikembangkan dalam penelitian lanjutan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini mengembangkan model *System Dynamics* untuk mengidentifikasi bottleneck struktural dalam sistem sirkulasi buku perpustakaan sekolah. Model yang dibangun merepresentasikan hubungan antara tingkat kunjungan siswa, laju peminjaman, laju pengembalian, keterlambatan pengembalian, sanksi, dan ketersediaan buku. Hasil analisis menunjukkan bahwa bottleneck utama terletak pada subsistem pengembalian, khususnya akibat keterlambatan pengembalian yang memperpanjang durasi peminjaman dan memperlambat aliran buku kembali ke stok tersedia.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa ketidakseimbangan antara laju peminjaman dan laju pengembalian menyebabkan ketersediaan buku berperilaku fluktuatif dan sulit pulih secara konsisten. Dengan demikian, permasalahan utama sistem tidak hanya berkaitan dengan jumlah koleksi atau tingkat kunjungan, tetapi lebih dipengaruhi oleh lambatnya proses pengembalian buku. Validasi model menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* menghasilkan rata-rata MAPE sebesar 18,24%, yang menunjukkan bahwa model memiliki tingkat kesesuaian yang dapat diterima untuk analisis perilaku sistem secara agregat dan eksploratif.

Implikasi dari penelitian ini menunjukkan bahwa perbaikan sistem sirkulasi buku perlu diarahkan pada penguatan mekanisme pengembalian, seperti pengingat jatuh tempo, pembatasan durasi peminjaman untuk koleksi dengan permintaan tinggi, pencatatan keterlambatan secara konsisten, serta penerapan sanksi yang lebih terstruktur. Penambahan koleksi tetap dapat dilakukan, tetapi tidak cukup efektif apabila tidak disertai perbaikan pada aliran pengembalian buku.

Untuk penelitian selanjutnya, model dapat dikembangkan dengan menggunakan data periode yang lebih lengkap dan rinci, termasuk jenis buku, tingkat

popularitas koleksi, karakteristik pengguna, kehilangan buku, kerusakan koleksi, serta variasi kebijakan peminjaman. Selain itu, penelitian mendatang dapat menambahkan skenario simulasi, seperti penerapan sistem pengingat digital, perubahan durasi peminjaman, peningkatan sanksi, atau prioritas koleksi populer, sehingga model tidak hanya mengidentifikasi bottleneck tetapi juga membandingkan alternatif kebijakan perbaikan sistem perpustakaan secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. L. Peller, A. M. Marcotte, Ketan, C. S. Wells, N. Press, and M. Kos, "Teacher training, coaching and school libraries in rural indigenous Guatemala: A multi-pronged approach to improving reading proficiency," *Int. J. Educ. Res. Open*, vol. 8, p. 100437, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2025.100437>.
- [2] C. M. Schweik, C. Meyer, P. Chinkondenji, J. Smith, and P. Mchenga, "World librarians: A socio-technical system providing library search services to offline schools and libraries in Malawi," *World Dev. Perspect.*, vol. 20, p. 100234, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2020.100234>.
- [3] S. Azhar, W. A. Awan, and M. S. Soroya, "Envisioning excellence in the Affect of Service, Information Control and Library as a Place: a LibQUAL+® assessment of Pakistani School Libraries," *Perform. Meas. Metrics*, vol. 26, no. 4, pp. 285–303, 2025, doi: <https://doi.org/10.1108/PMM-02-2025-0006>.
- [4] E. Mahmoodi, M. Fathi, M. Ghobakhloo, and A. H. C. Ng, "A framework for throughput bottleneck analysis using cloud-based cyber-physical systems in Industry 4.0 and smart manufacturing," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 232, pp. 3121–3130, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.02.128>.
- [5] N. K. Sharma and A. Tripathi, "Exploring status of library management technical aspects in Indian schools," *Libr. Manag.*,



- vol. 43, no. 12, pp. 161–171, 2022, doi: <https://doi.org/10.1108/LM-07-2021-0064>.
- [6] K. Flynn, “Empowering library support staff to prevent role creep in school libraries,” *Collect. Curation*, vol. 45, no. 1, pp. 21–26, 2025, doi: <https://doi.org/10.1108/CC-04-2025-0023>.
- [7] A. M. Nasir, “Impact of time series prediction to the online booking system (internet) on the libraries employing Poisson logarithmic linear model ,” *Eastern-European J. Enterp. Technol.*, vol. 2, no. 4 (116) SE-Mathematics and Cybernetics-applied aspects, pp. 30–37, Apr. 2022, doi: [10.15587/1729-4061.2022.254333](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254333).
- [8] Z. Liu, W. Zhu, S. Rankin, and N. Garg, “Optimizing Library Usage and Browser Experience: Application to the New York Public Library,” *arXiv*, pp. 1–32, 2025, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2503.23118>
- [9] B. O’Brien, S. O’Brien, and J. O’Hara, “School Library Provision in the Republic of Ireland,” *Sch. Libr. Worldw.*, vol. 28, no. 1, pp. 54–77, May 2023, doi: [10.29173/slw8516](https://doi.org/10.29173/slw8516).
- [10] K. Schaffer, “Chapter 4 - An exploration of research methodologies,” K. B. T.-P. and P. C. R. Schaffer, Ed., Academic Press, 2021, pp. 23–31. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824426-5.00004-0>.
- [11] D. A. Putera, “Pengendalian Persediaan Beras Menggunakan Pendekatan Sistem Dinamis Di Perum Bulog Divre Sumut,” Universitas Sumatera Utara, Medan, 2021. [Online]. Available: <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/47744>
- [12] A. Vallati, M. Di Matteo, M. Sundararajan, F. Muzi, and C. V. Fiorini, “Development and optimization of an energy saving strategy for social housing applications by water source-heat pump integrating photovoltaic-thermal panels,” *Energy*, vol. 301, p. 131531, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.131531>.
- [13] Y. Mou, Y. Luo, Z. Su, J. Wang, and T. Liu, “Evaluating the dynamic sustainability and resilience of a hybrid urban system: case of Chengdu, China,” *J. Clean. Prod.*, vol. 291, p. 125719, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125719>.
- [14] N. Paape, J. A. W. M. Van Eekelen, and M. A. Reniers, “Review of simulation software for cyber-physical production systems with intelligent distributed production control,” *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 37, no. 5, pp. 589–611, May 2024, doi: [10.1080/0951192X.2023.2228270](https://doi.org/10.1080/0951192X.2023.2228270).
- [15] J. Hanzl, P. Gross, L. Bartuška, and J. Pečman, “Simulation of Autonomous Mobility of Connected Vehicles in the Context of Real Conditions – a Case Study,” *LOGI – Sci. J. Transp. Logist.*, vol. 12, no. 1, pp. 226–237, 2021, doi: [10.2478/logi-2021-0021](https://doi.org/10.2478/logi-2021-0021).
- [16] K. Warneke, S. D. Siegel, J. Afonso, and S. Wallot, “What the mean absolute percentage error (MAPE) should adopt from Bland–Altman analyses,” *Ger. J. Exerc. Sport Res.*, 2025, doi: [10.1007/s12662-025-01084-3](https://doi.org/10.1007/s12662-025-01084-3).
- [17] K. Budiman, M. H. Adi, A. Munawar, and A. Purwinarko, “The Telegram notification system for improving library services Universitas Negeri Semarang Sistem notifikasi Telegram untuk peningkatan layanan perpustakaan di Universitas Negeri Semarang,” *J. Kaji. Inf. Perpust.*, vol. 10, no. 1, pp. 75–88, 2022.