

## Pemantauan Iklim Mikro di Perpustakaan Universitas Indonesia

<sup>1,2</sup>Muhammad Asyep Syam'aeni, <sup>1</sup>Tamara Adriani Salim

<sup>1</sup>Departemen Ilmu Perpustakaan dan Informasi, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

<sup>2</sup>Universitas Islam Internasional Indonesia, Depok, Indonesia

Email: [asyepsyam@gmail.com](mailto:asyepsyam@gmail.com)

Diajukan: 24-04-2025 Direvisi: 02-07-2025 Diterima: 05-08-2025

### INTISARI

Preservasi koleksi perpustakaan, terutama yang berbahan dasar organik seperti kertas dan kulit, merupakan tantangan penting dalam pengelolaan informasi. Faktor-faktor lingkungan seperti suhu dan kelembapan relatif yang tidak terkontrol dapat mempercepat degradasi koleksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi iklim mikro di ruang koleksi naskah Perpustakaan Universitas Indonesia (UI) untuk mengevaluasi risiko terhadap preservasi koleksi. Pemantauan suhu dan kelembapan relatif dilakukan secara kontinu selama satu bulan menggunakan data logger di ruang koleksi naskah Perpustakaan UI. Data yang diperoleh dianalisis untuk menghitung nilai Equivalent Lifetime Multiplier (eLM), sebuah indeks yang mengukur dampak suhu terhadap umur koleksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu rata-rata di ruang koleksi adalah 28,1°C, dengan kelembapan relatif rata-rata 70,2%. Nilai eLM yang diperoleh adalah 0,209, menunjukkan bahwa koleksi berisiko tinggi mengalami degradasi dengan umur efektif hanya 20,9% dari umur idealnya. Fluktuasi suhu dan kelembapan yang signifikan juga teramati selama periode pemantauan, terutama saat sistem HVAC tidak beroperasi. Kesimpulannya, kondisi iklim mikro di ruang koleksi naskah Perpustakaan UI tidak ideal untuk preservasi jangka panjang koleksi, dengan suhu dan kelembapan yang tinggi serta fluktuasi yang mempercepat degradasi. Penelitian ini merekomendasikan optimalisasi sistem HVAC, monitoring lingkungan berkelanjutan, dan penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan strategi mitigasi yang efektif.

**Kata Kunci:** Microclimate; Preservasi koleksi; Perpustakaan, Suhu; Relative humidity; Equivalent Lifetime Multiplier (eLM)

### ABSTRACT

The preservation of library collections, especially those made from organic materials such as paper and leather, is an important challenge in information management. Environmental factors such as uncontrolled temperature and relative humidity can accelerate the degradation of collections. This study aims to analyze the microclimate conditions in the manuscript collection room of the Universitas Indonesia (UI) Library to evaluate the risks to collection preservation. Temperature and relative humidity monitoring was carried out continuously for one month using data loggers in the UI Library's manuscript collection room. The data obtained were analyzed to calculate the Equivalent Lifetime Multiplier (eLM) value, an index that measures the impact of temperature on the lifespan of collections. The results showed that the average temperature in the collection room was 28.1°C, with an average relative humidity of 70.2%. The eLM value obtained was 0.209, indicating that the collection is at high risk of degradation with an effective lifespan of only 20.9% of its ideal lifespan. Significant temperature and humidity fluctuations were also observed during the monitoring period, especially when the HVAC system was not operating. In conclusion, the microclimate conditions in the UI Library's manuscript collection room are not ideal for long-term collection preservation, with high temperatures and humidity as well as fluctuations that accelerate degradation. This study recommends optimizing the HVAC system, continuous environmental monitoring, and further research to develop effective mitigation strategies.

**Keywords:** Microclimate; Collection preservation; Library; Temperature; Relative humidity; Equivalent Lifetime Multiplier (eLM)

### PENDAHULUAN

Preservasi koleksi perpustakaan, terutama yang berbahan dasar organik higroskopis seperti kertas dan kulit, menjadi tantangan utama bagi institusi informasi (Verticchio dkk., 2022). Koleksi ini sangat rentan terhadap faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan relatif (RH), pencahayaan, dan polutan udara. Salah satu ancaman terbesar terhadap koleksi berbahan



organik adalah perubahan iklim mikro yang dapat mempercepat degradasi kimia, mekanis, dan biologis (Schito dkk., 2019). Dalam konteks perubahan iklim global, peningkatan suhu dan fluktuasi kelembapan dapat mempercepat proses degradasi koleksi berbasis kertas melalui reaksi hidrolisis selulosa dan oksidasi bahan organik (Drougka dkk., 2020). Kelembapan yang tinggi dalam ruang penyimpanan juga berkontribusi terhadap pertumbuhan mikroorganisme seperti jamur, yang dapat menyebabkan perubahan warna, degradasi serat kertas, serta melemahkan struktur mekanis koleksi perpustakaan. Kelembapan yang berlebihan secara signifikan dapat meningkatkan risiko pertumbuhan jamur pada koleksi kertas (Guild dkk., 2020), terutama di lingkungan dengan ventilasi yang buruk (Alaidroos & Mosly, 2023; Moretti dkk., 2024). Kondisi ini semakin diperparah dalam iklim tropis, di mana kelembapan tinggi sepanjang tahun menciptakan lingkungan ideal bagi perkembangan mikroorganisme yang dapat merusak koleksi secara permanen (Sesana dkk., 2021) (Wahab dkk., 2014). Oleh karena itu, pemantauan iklim mikro menjadi langkah penting dalam strategi mitigasi preservasi koleksi perpustakaan agar tetap terjaga dalam jangka panjang.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah membahas pemantauan iklim mikro di perpustakaan bersejarah, khususnya di wilayah Eropa dan Asia, dengan menyoroti ancaman degradasi akibat faktor lingkungan. Studi yang dilakukan oleh Sahin (2017) menemukan bahwa suhu tinggi selama musim panas di Perpustakaan Tire Necip Paşa, Turki, menyebabkan percepatan degradasi naskah kuno (Sahin dkk., 2017). Penelitian lain di Perpustakaan Alessandrina, menunjukkan bagaimana penerapan termo-higrometer dan penggunaan indeks seperti TWEL, beserta pengukuran kolorimetri, dapat secara efektif mengevaluasi kondisi iklim mikro dan risiko konservasi terkait untuk koleksi berbasis kertas, seperti yang ditunjukkan dalam studi. (Verticchio dkk., 2022). Namun, sebagian besar penelitian tersebut dilakukan di daerah dengan empat musim (Balocco dkk., 2016; Boeri dkk., 2022; Verticchio dkk., 2021) dan belum banyak membahas tantangan konservasi dalam iklim tropis, seperti yang ada di Indonesia. Perpustakaan di Indonesia menghadapi tantangan unik akibat kelembapan yang tinggi sepanjang tahun dan fluktuasi suhu yang relatif kecil (Niar, 2019), tetapi tetap memberikan dampak signifikan terhadap koleksi perpustakaan. Minimnya penelitian yang secara khusus mengkaji strategi pemantauan berbasis indeks preservasi di perpustakaan Indonesia menjadi celah yang perlu diisi dalam penelitian ini.

Beragam metode telah digunakan dalam penelitian sebelumnya untuk mengevaluasi kondisi iklim mikro di perpustakaan, termasuk pemantauan suhu dan kelembapan relatif secara kontinu menggunakan sensor otomatis guna memahami fluktuasi harian dan musiman (Andretta dkk., 2017). Selain itu, beberapa studi juga telah menerapkan analisis indeks preservasi untuk memperkirakan umur koleksi berdasarkan kondisi lingkungan (Coskun dkk., 2024). Evaluasi terhadap tingkat degradasi kimia dan biologis akibat paparan polutan udara dan kelembapan tinggi juga menjadi bagian dari penelitian-penelitian terdahulu dalam bidang ini (Schito dkk., 2019). Meskipun sejumlah pendekatan telah dilakukan, penelitian yang mengintegrasikan berbagai metode pemantauan iklim mikro dalam satu studi untuk mengevaluasi kondisi perpustakaan tropis masih jarang ditemukan.



Penelitian mengenai konservasi koleksi perpustakaan telah berkembang seiring dengan meningkatnya pemahaman tentang dampak lingkungan terhadap ketahanan material perpustakaan. Koleksi perpustakaan yang sebagian besar berbahan organik, seperti kertas dan kulit, bersifat higroskopis dan sangat rentan terhadap perubahan kondisi iklim mikro, terutama suhu dan kelembapan relatif. Ketika kondisi lingkungan tidak terkendali, koleksi ini mengalami percepatan degradasi baik secara kimia maupun biologis. Oleh karena itu, berbagai studi telah meneliti strategi konservasi berbasis pemantauan lingkungan dan pendekatan ilmiah untuk memahami mekanisme degradasi yang terjadi pada koleksi perpustakaan .

Penelitian oleh Schito et al. (2019) menyoroti pentingnya analisis iklim mikro dalam mengidentifikasi risiko yang ditimbulkan oleh perubahan suhu dan kelembapan terhadap koleksi perpustakaan bersejarah (Schito dkk., 2019). Studi ini menunjukkan bahwa fluktuasi kelembapan yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan risiko pertumbuhan jamur serta mempercepat degradasi kimia, yang pada akhirnya menurunkan kualitas koleksi perpustakaan dalam jangka panjang . Studi lain oleh Verticchio et al. (2021) mengkaji kondisi iklim mikro di tiga perpustakaan bersejarah di Italia dan menemukan bahwa bahkan perbedaan kecil dalam suhu dan kelembapan dapat memberikan dampak signifikan terhadap ketahanan koleksi perpustakaan (Verticchio dkk., 2021). Indeks risiko preservasi yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan adanya variasi antar lokasi yang menegaskan bahwa faktor lingkungan sangat menentukan umur koleksi perpustakaan .

Namun, sebagian besar penelitian terdahulu masih terbatas pada perpustakaan di daerah beriklim sedang dan dingin, di mana kondisi lingkungan dapat dikendalikan melalui sistem HVAC atau metode konservasi pasif lainnya (Balocco dkk., 2016; Moretti dkk., 2024; Tronchin & Fabbri, 2017). Selain itu, studi yang dilakukan di Perpustakaan Alessandrina di Roma mengungkapkan bahwa faktor lingkungan seperti fluktuasi suhu musiman dan kelembapan mempengaruhi ketahanan koleksi perpustakaan. Penelitian ini menekankan perlunya sistem pemantauan iklim mikro yang lebih presisi untuk menilai dampak kondisi lingkungan terhadap koleksi perpustakaan (Verticchio dkk., 2022). Meski demikian, penelitian ini belum mempertimbangkan kondisi ekstrem yang sering terjadi di daerah tropis, di mana suhu dan kelembapan relatif bisa berubah secara drastis dalam waktu singkat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan dalam literatur dengan mengevaluasi risiko kimia dan biologis pada koleksi perpustakaan di lingkungan tropis, menggunakan pemantauan instrumental dan pendekatan berbasis indeks preservasi.

Dalam studi tentang konservasi koleksi perpustakaan, penggunaan indeks preservasi telah menjadi pendekatan yang banyak digunakan untuk mengevaluasi dampak kondisi lingkungan terhadap koleksi perpustakaan. Equivalent Lifetime Multiplier (eLM) merupakan indeks yang digunakan untuk mengukur dampak suhu terhadap umur koleksi perpustakaan berdasarkan prinsip Arrhenius. Prinsip ini menyatakan bahwa kenaikan suhu akan mempercepat reaksi kimia yang berkontribusi terhadap degradasi koleksi perpustakaan. Studi oleh Sahin et al. (2017) menunjukkan bahwa peningkatan suhu dapat secara signifikan mempercepat degradasi kimia pada koleksi perpustakaan, dengan eLM yang lebih rendah menandakan kondisi lingkungan yang kurang ideal untuk konservasi (Sahin dkk., 2017).



Penelitian ini merupakan kelanjutan dari studi-studi terdahulu yang telah mengevaluasi risiko konservasi koleksi perpustakaan berbasis pemantauan lingkungan, tetapi dengan fokus yang lebih spesifik pada perpustakaan di lingkungan tropis. Dengan menggunakan instrumental monitoring, penelitian ini akan mengevaluasi risiko kimia dan biologis pada koleksi perpustakaan dengan menggunakan TWPI sebagai indikator utama.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren perubahan kondisi lingkungan dalam ruang koleksi perpustakaan selama satu bulan, menentukan hubungan antara suhu, kelembapan, dan ketahanan koleksi berdasarkan indeks preservasi, serta menyediakan rekomendasi mitigasi berbasis data untuk meningkatkan pengelolaan iklim mikro dalam ruang koleksi perpustakaan tropis. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini akan menjawab pertanyaan bagaimana nilai Equivalent Lifetime Multiplier (eLM) dalam ruang koleksi selama satu bulan berdasarkan pengukuran suhu? Untuk menjawab pertanyaan ini, penelitian ini dilakukan di Ruang Koleksi Naskah Perpustakaan Universitas Indonesia (UI), yang menyimpan koleksi yang berharga dengan kondisi lingkungan yang dipantau secara kontinu menggunakan data logger suhu dan kelembapan.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif bersifat deskriptif untuk mengukur kondisi iklim mikro dalam ruang koleksi naskah di Perpustakaan UI. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan data logger sensor suhu dan kelembapan yang dipasang di titik tengah ruang koleksi naskah Perpustakaan UI. Data yang diperoleh akan dianalisis menggunakan indeks Equivalent Lifetime Multiplier (eLM).

Perpustakaan Universitas Indonesia (UI) merupakan salah satu perpustakaan akademik terbesar di Indonesia yang memiliki koleksi perpustakaan yang kaya, termasuk naskah langka dan koleksi perpustakaan berbasis kertas. Perpustakaan UI berlokasi di Gedung "The Crystal of Knowledge", Kampus UI, Pondok Cina, Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424. Perpustakaan ini memiliki sejarah panjang dalam pengelolaan koleksi perpustakaan, dengan awal pendiriannya pada tahun 1959.

Pada tahun 2010, Universitas Indonesia mulai membangun gedung perpustakaan sebagai bagian dari rencana strategis UI. Gedung "The Crystal of Knowledge" selesai dibangun pada awal tahun 2011, dan proses integrasi layanan dimulai pada bulan Maret 2012. Perpustakaan ini menempati lahan 2,5 hektare, dengan luas bangunan 33.000 meter persegi, dan diresmikan secara resmi pada 13 Mei 2011. Saat ini, Perpustakaan Universitas Indonesia memiliki sekitar 4 juta eksemplar koleksi perpustakaan, yang terdiri dari koleksi digital dan fisik yang tersebar di berbagai ruangan dan lantai, termasuk 2.771 eksemplar naskah serta 2.042 eksemplar buku klasik (Laporan Tahunan Perpustakaan Universitas Indonesia, 2024).

Ruang koleksi naskah yang berada dalam Perpustakaan UI berfungsi sebagai tempat penyimpanan naskah dan buku klasik yang memerlukan perlakuan khusus dalam pengelolaannya. Ruang koleksi naskah memiliki luas kurang lebih 101,64 m<sup>2</sup>. Ruangan bagian



dalam ini memiliki akses terbatas, di mana hanya pustakawan yang bertugas yang dapat memasuki area tersebut guna menjaga kondisi lingkungan tetap terkendali dan memastikan koleksi tetap terjaga dengan baik.



Sumber: Dokumentasi peneliti  
Gambar 1. Ruang Koleksi Naskah

Pemantauan kondisi iklim mikro dalam Ruang Koleksi Naskah dilakukan menggunakan data logger Elitech GSP-6, yang memiliki rentang pengukuran suhu  $-40^{\circ}\text{C}$  hingga  $85^{\circ}\text{C}$  dengan akurasi  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , serta rentang kelembapan 10% hingga 99% RH dengan akurasi  $\pm 3\%$  RH. Alat ini telah memenuhi standar sertifikasi EN12830, yang memastikan keandalan dalam pengukuran suhu dan kelembapan untuk keperluan konservasi. Pemantauan dilakukan selama satu bulan, dimulai dari 17 Maret 2025 hingga 17 April 2025, dengan pencatatan data secara kontinu untuk mendapatkan gambaran menyeluruh mengenai kondisi lingkungan di dalam ruang koleksi.

Ruang koleksi naskah dilengkapi dengan HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) yang dikontrol secara manual melalui kontrol panel gedung dan beroperasi sesuai dengan jam operasional perpustakaan. Selain itu, ruangan ini juga memiliki sistem ventilasi manual dengan sirkulasi udara yang berasal dari dalam gedung tanpa menggunakan filter udara. Namun, dalam penelitian ini, ventilasi manual tersebut tidak dioperasikan agar hasil pemantauan lebih merepresentasikan kondisi ruangan dengan HVAC yang ada.

Sensor pemantauan ditempatkan di satu titik di tengah ruangan dengan ketinggian 1,05 meter dari lantai, diletakkan di atas rak penyimpanan guna memastikan posisi yang optimal dalam menangkap kondisi lingkungan secara representatif. Lokasi ini dipilih dengan mempertimbangkan jarak yang cukup dari sumber *output* udara AC agar hasil pengukuran tidak terpengaruh oleh perubahan suhu yang bersifat lokal akibat sistem pendingin ruangan. Pengukuran dilakukan dengan interval pencatatan setiap 10 menit, sehingga memungkinkan pemantauan yang akurat terhadap fluktuasi suhu dan kelembapan di dalam ruang koleksi.

Data yang diperoleh dari pemantauan ini akan digunakan untuk menghitung *equivalent Lifetime Multiplier* (eLM). Analisis data akan dilakukan menggunakan Microsoft Excel dan R Studio, yang memungkinkan pengolahan data secara sistematis, termasuk visualisasi tren suhu



dan kelembapan, serta perhitungan indeks preservasi berdasarkan kondisi lingkungan di ruang penyimpanan. Hasil analisis ini akan menjadi dasar dalam menilai risiko konservasi koleksi perpustakaan serta merumuskan strategi mitigasi yang sesuai untuk memperpanjang umur koleksi.

*Equivalent Lifetime Multiplier* (eLM) digunakan untuk mengukur seberapa lama koleksi perpustakaan dapat bertahan berdasarkan suhu lingkungan. Rumus eLM didasarkan pada prinsip Arrhenius, yang menyatakan bahwa reaksi kimia, termasuk degradasi kertas, meningkat secara eksponensial dengan kenaikan suhu (Sahin dkk., 2017).

$$eLM = \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_{x=1}^N \left( \frac{1}{LM_i (T_i RH_i)} \right)}$$

dengan

$$LM_i = \left( \frac{RH_{ref}}{RH_i} \right)^{1.3} \times \exp \left( \frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T_i + 273.15} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right)$$

dimana:

RH = kelembapan relatif aktual (%);

RH<sub>ref</sub> = kelembapan referensi (50%);

T = suhu aktual dalam °C;

T<sub>ref</sub> = suhu referensi (293.15 K);

E<sub>a</sub> = energi aktivasi (100 kJ mol<sup>-1</sup> untuk bahan organik);

R = konstanta gas (8.314 J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>).

Dalam penelitian ini, interpretasi terhadap nilai *Lifetime Multiplier* (LM) dan *expected Lifetime Multiplier* (eLM) mengacu pada standar klasifikasi risiko yang telah dikembangkan dalam studi sebelumnya. Klasifikasi nilai LM mengikuti pedoman dari Coskun et al. (2024), yang membagi tingkat risiko menjadi tiga kategori: risiko rendah jika nilai LM lebih dari 1, risiko sedang untuk nilai antara 0,75 hingga 1, dan risiko tinggi jika LM sama dengan atau kurang dari 0,75. Sementara itu, klasifikasi nilai eLM merujuk pada kajian Sahin et al. (2017), yang membagi tingkat kelayakan umur pakai koleksi menjadi lima tingkatan: kategori ideal untuk nilai di atas 2,2; baik pada rentang 1,7 hingga 2,2; beberapa risiko antara 1 hingga 1,7; risiko potensial antara 0,75 hingga 1; serta risiko tinggi jika nilai eLM kurang dari 0,75. Klasifikasi ini digunakan sebagai acuan untuk menilai kondisi konservasi lingkungan penyimpanan dan memperkirakan potensi degradasi koleksi berdasarkan parameter suhu dan kelembapan yang termonitor.

## PEMBAHASAN

Pemantauan suhu dan kelembapan relatif (RH) dilakukan secara otomatis dengan sistem perekaman digital selama periode 17 Maret hingga 17 April 2025 di ruang koleksi naskah Perpustakaan Universitas Indonesia. Data dikumpulkan dari satu titik lokasi secara berkala dan berjumlah total 4.457 data. Setiap entri data mencakup informasi waktu (timestamp), suhu



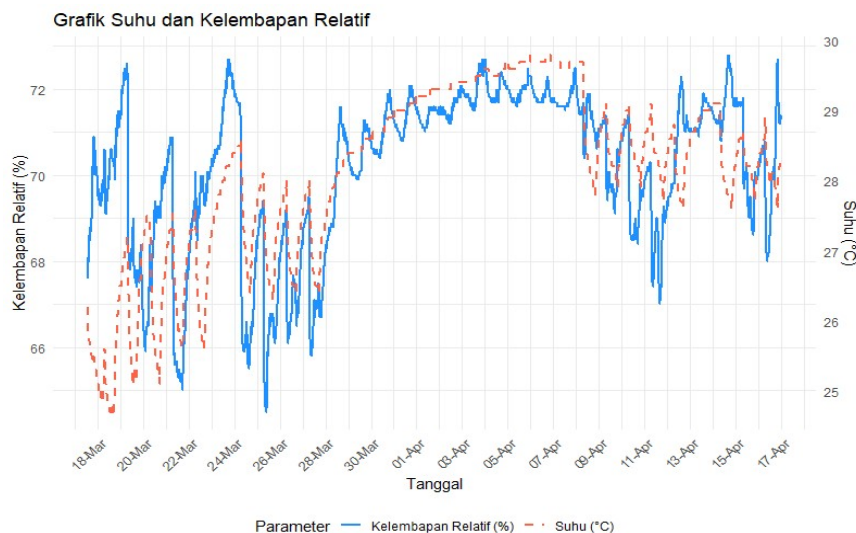
(dalam °C), kelembapan relatif (dalam %), serta nilai *Lifetime Multiplier* (LM) yang dihitung menggunakan parameter lingkungan aktual terhadap nilai referensi konservasi ideal.

Tabel 1. Suhu dan Kelembapan Mingguan

Minggu	Suhu Rata2	Suhu Max	Suhu Min	RH Rata2	RH Max	RH Min
Minggu 1	26.4	28.4	24.7	69.3	72.7	65
Minggu 2	27.8	28.9	26.3	68.8	72	64.5
Minggu 3	29.4	29.8	28.9	71.7	72.7	70.8
Minggu 4	28.6	29.7	27.6	70.6	72.8	67
Minggu 5	28,3	29.1	27.6	70.7	72.8	68

Sumber: Data primer diolah, tahun 2025

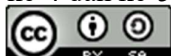
Secara umum, suhu ruang koleksi selama periode pemantauan menunjukkan rata-rata 28,1°C, dengan suhu maksimum mencapai 29,8°C dan minimum 24,7°C. Adapun nilai RH berkisar cukup tinggi dengan rata-rata 70,2%, RH maksimum sebesar 72,8%, dan minimum sebesar 64,5%. Nilai-nilai ini jauh di atas batas konservasi yang direkomendasikan secara internasional, yakni sekitar 18–20°C untuk suhu dan 45–55% untuk kelembapan. Artinya, secara keseluruhan ruang koleksi berada dalam kondisi yang tidak ideal untuk pelestarian jangka panjang.



Sumber: Data primer diolah, tahun 2025

Gambar 2. Grafik Suhu dan Kelembapan Relatif

Distribusi data berdasarkan pekan menunjukkan pola suhu dan kelembapan yang relatif stabil namun tetap tinggi. Pada Minggu ke-1, suhu rata-rata tercatat 26,4°C dengan RH rata-rata 69,3%. Suhu meningkat signifikan pada Minggu ke-3, dengan rata-rata mencapai 29,4°C dan RH 71,7%. Peningkatan ini menandakan bahwa pada pertengahan masa pemantauan terjadi lonjakan suhu dan RH, yang berdampak pada percepatan degradasi koleksi. Meskipun Minggu ke-4 dan ke-5 menunjukkan penurunan kecil, nilai iklim mikro tetap berada dalam zona risiko.



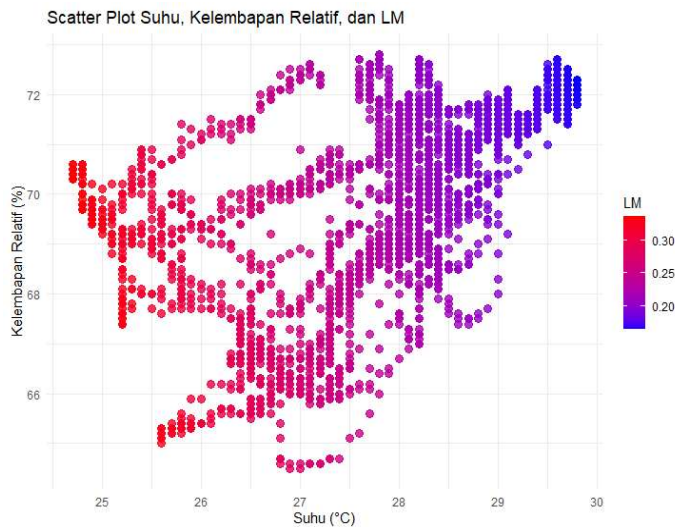
Tabel 2. Perhitungan Nilai LM

Timestamp	Temperature (°C)	RH (%)	LM
2025-03-17 13.49.53	26,2	67,6	0,288848712
2025-03-17 13.59.53	25,9	67,9	0,29900321
2025-03-17 14.09.53	25,9	68	0,298431712
2025-03-17 14.19.53	25,8	68,1	0,301896625
2025-03-17 14.29.53	25,8	68	0,302473908
2025-03-17 14.39.53	25,8	68,1	0,301896625
2025-03-17 14.49.53	25,8	68,2	0,301321289
2025-03-17 14.59.53	25,8	68,3	0,30074789
2025-03-17 15.09.53	25,7	68,4	0,304244985
2025-03-17 15.19.53	25,7	68,3	0,304824203

Hingga 4457 data

Sumber: Data primer diolah, tahun 2025

Hasil pengolahan menunjukkan bahwa nilai LM untuk seluruh titik waktu berkisar antara 0,263 hingga 0,332, dengan rata-rata sebesar 0,298. Nilai ini menandakan bahwa seluruh kondisi selama pemantauan masuk dalam kategori risiko tinggi ( $LM \leq 0,75$ ). Agregasi nilai LM pada tabel 2 menghasilkan nilai expected Lifetime Multiplier (eLM) sebesar 0,2091 yang berarti koleksi tersebut memiliki risiko tinggi. Berdasarkan nilai ini, umur efektif koleksi yang berada dalam lingkungan pemantauan hanya sekitar 20,9% dari umur idealnya.



Sumber: Data primer diolah, tahun 2025

Gambar 3. Scatter Plot Suhu, Kelembapan Relatif, dan Nilai LM



Gambar 3 menunjukkan hubungan antara suhu (dalam °C), kelembapan relatif (dalam %) dan nilai LM dalam sebuah lingkungan tertentu. Sumbu-x merepresentasikan suhu, berkisar antara 25°C hingga 29,8°C, sementara sumbu-y menunjukkan kelembapan relatif, dengan rentang antara 64,5% hingga 72%. Setiap titik dalam plot mewakili pasangan nilai suhu dan kelembapan relatif, dan warna titik-titik tersebut mengindikasikan nilai LM, dengan gradasi warna dari biru (nilai LM sekitar 0.20) hingga merah (nilai LM sekitar 0.30).

Terlihat bahwa terdapat pola sebaran data yang membentuk area seperti 'alur' melengkung di dalam grafik. Pada suhu rendah (sekitar 25°C - 26°C), kelembapan relatif cenderung bervariasi antara 66% hingga 70%, dan nilai LM umumnya berada pada rentang yang mengindikasikan risiko sedang hingga rendah (mendekati 0.75-1). Seiring dengan peningkatan suhu, kita melihat peningkatan variasi baik pada kelembapan relatif maupun nilai LM. Pada rentang suhu menengah (sekitar 27°C-28°C), titik-titik tersebar di seluruh rentang kelembapan relatif dan nilai LM menunjukkan gradasi dari sedang ke tinggi (0.75 - <0.75). Pada suhu tinggi (sekitar 29°C-30°C), titik-titik cenderung mengelompok di area kelembapan relatif tinggi (di atas 70%) dan nilai LM tinggi, mengindikasikan risiko tinggi ( $\leq 0.75$ ). Gambar 3 menunjukkan adanya korelasi antara suhu, kelembapan relatif, dan nilai LM. Nilai LM cenderung menurun seiring dengan kenaikan suhu dan kelembapan relatif, meskipun hubungan ini tidak selalu linier dan terdapat variasi dalam sebaran data. Pola ini mengindikasikan bahwa kondisi suhu dan kelembapan yang lebih tinggi berkaitan dengan peningkatan risiko degradasi (nilai LM yang lebih rendah) atau umur koleksi yang lebih pendek di lingkungan yang diamati.

Secara keseluruhan, hasil menunjukkan bahwa lingkungan ruang koleksi mengalami tekanan termal dan kelembapan yang signifikan, yang secara langsung memengaruhi laju penuaan material dokumen. Tidak ada pekan yang menunjukkan nilai LM atau eLM dalam kategori aman atau ideal. Bahkan pada minggu-minggu dengan suhu rata-rata lebih rendah, kelembapan tetap tinggi sehingga tetap menurunkan nilai LM. Temuan ini memberikan dasar kuat untuk melakukan intervensi konservasi iklim mikro secara sistematis dan berkelanjutan demi menjamin keberlanjutan informasi yang terkandung dalam koleksi.

Nilai LM yang seluruhnya berada di bawah 0,75 mengindikasikan bahwa kondisi iklim mikro selama periode pemantauan tergolong berisiko tinggi terhadap pelestarian koleksi. Ini berarti bahwa setiap titik data menunjukkan laju degradasi yang lebih cepat dari kondisi ideal. Dalam konteks konservasi dokumen dan naskah permanen, nilai LM yang rendah menandakan bahwa suhu dan kelembapan secara langsung memengaruhi percepatan reaksi kimia yang merusak struktur kertas, seperti hidrolisis dan oksidasi selulosa.

Nilai eLM sebesar 0,2091 secara praktis menggambarkan bahwa koleksi dalam ruang tersebut mengalami proses penuaan sekitar lima kali lebih cepat dari koleksi yang disimpan dalam kondisi iklim ideal. Ini merupakan indikator makro dari kinerja ruang penyimpanan secara keseluruhan, dan menjadi dasar untuk memprioritaskan tindakan konservasi. Dalam skenario saat ini, umur koleksi yang seharusnya dapat bertahan 500 tahun (Strlič dkk., 2015) hanya akan mencapai sekitar 104 tahun, yang tentu tidak memadai untuk upaya pelestarian jangka panjang.



Jika disesuaikan dengan ISO 11799 *Information and documentation - Document storage requirements for archive and library materials*, maka nilai suhu 25–27°C dan RH 67–69% jelas melebihi batas toleransi. Standar ideal menghendaki kondisi sekitar 18–20°C dan RH 45–55%. Penyimpangan dari standar tersebut tidak hanya meningkatkan laju degradasi, tetapi juga meningkatkan risiko serangan mikrobiologis seperti jamur dan bakteri, terutama pada kelembapan di atas 65%.

Data menunjukkan adanya fluktuasi yang signifikan pada suhu dan kelembapan selama periode pemantauan. Meskipun pada periode tertentu terdapat kecenderungan kestabilan, secara keseluruhan kondisi iklim mikro bersifat fluktuatif, dengan variasi harian dan mingguan yang mencolok. Terutama pada Minggu ke-3, suhu maksimum mendekati 30°C dan RH melebihi 72%, mengindikasikan tekanan lingkungan yang cukup tinggi terhadap koleksi. Sementara itu, pada periode 28 Maret hingga 7 April, data mencatat kestabilan relatif, tetapi tetap menunjukkan suhu di atas 25°C dan RH di atas 65%. Periode ini bertepatan dengan libur Hari Raya Idul Fitri, ketika perpustakaan tidak beroperasi dan sistem HVAC dimatikan, menyebabkan kondisi lingkungan sepenuhnya bergantung pada suhu dan kelembapan alami bangunan. Situasi ini juga mencerminkan salah satu kelemahan dalam penelitian, yaitu tidak adanya intervensi aktif selama penutupan operasional. Hal ini menunjukkan pentingnya keberlanjutan sistem kontrol iklim bahkan saat perpustakaan tidak beroperasi, agar dapat mempertahankan lingkungan penyimpanan yang aman.

Secara keseluruhan, hasil menunjukkan bahwa lingkungan ruang koleksi mengalami tekanan termal dan kelembapan yang signifikan, yang secara langsung memengaruhi laju penuaan material dokumen. Tidak ada pekan yang menunjukkan nilai LM atau eLM dalam kategori aman atau ideal. Bahkan pada minggu-minggu dengan suhu rata-rata lebih rendah, kelembapan tetap tinggi sehingga tetap menurunkan nilai LM. Temuan ini memberikan dasar kuat untuk melakukan intervensi konservasi iklim mikro secara sistematis dan berkelanjutan demi menjamin keberlanjutan informasi yang terkandung dalam koleksi.

## KESIMPULAN

Hasil pemantauan iklim mikro selama lima minggu di ruang koleksi naskah menunjukkan bahwa kondisi suhu dan kelembapan relatif berada dalam rentang yang tidak ideal bagi kelestarian koleksi. Nilai Lifetime Multiplier (LM) yang seluruhnya berada pada kategori risiko tinggi, serta nilai *expected Lifetime Multiplier* (eLM) sebesar 0,209, menunjukkan bahwa koleksi mengalami laju degradasi hingga lima kali lebih cepat dari kondisi konservasi ideal. Hal ini berarti umur efektif koleksi hanya sekitar 104 tahun dibandingkan umur ideal 500 tahun. Temuan ini mengindikasikan bahwa iklim mikro di ruang penyimpanan masih jauh dari standar konservasi dokumen, dan kondisi fluktuatif suhu dan kelembapan yang terdeteksi, terutama saat sistem HVAC tidak berfungsi, semakin memperburuk laju degradasi material arsip dan naskah.

Untuk meningkatkan umur simpan koleksi, diperlukan optimalisasi sistem HVAC agar dapat menjaga suhu dan kelembapan pada rentang konservasi yang disarankan, bahkan selama periode non-operasional seperti hari libur panjang. Selain itu, penerapan sistem *monitoring digital* berbasis sensor yang terhubung secara *real-time* perlu diperkuat untuk memungkinkan



deteksi dini terhadap perubahan iklim mikro. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mencakup pengambilan data dari beberapa titik lokasi, mempertimbangkan sirkulasi udara, arah cahaya, serta penggunaan model prediktif berbasis TWPI atau algoritma *machine learning* untuk memberikan pemahaman lebih mendalam terhadap risiko pelapukan koleksi dalam jangka panjang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alaidroos, A., & Mosly, I. (2023). Preventing mold growth and maintaining acceptable indoor air quality for educational buildings operating with high mechanical ventilation rates in hot and humid climates. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 16(2), 341–361. <https://doi.org/10.1007/s11869-022-01277-x>
- Andretta, M., Coppola, F., Modelli, A., Santopuoli, N., & Seccia, L. (2017). Proposal for a new environmental risk assessment methodology in cultural heritage protection. *Journal of Cultural Heritage*, 23, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.08.001>
- Balocco, C., Petrone, G., Maggi, O., Pasquariello, G., Albertini, R., & Pasquarella, C. (2016). Indoor microclimatic study for Cultural Heritage protection and preventive conservation in the Palatina Library. *Journal of Cultural Heritage*, 22, 956–967. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.05.009>
- Boeri, A., Longo, D., Fabbri, K., Pretelli, M., Bonora, A., & Boulanger, S. (2022). Library Indoor microclimate monitoring with and without heating system. A bologna university library case study. *Journal of Cultural Heritage*, 53, 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2021.11.012>
- Coskun, T., Arsan, Z. D., & Akkurt, G. G. (2024). The effect of structural retrofitting and ventilation scenarios on the indoor microclimate of a historical library: The Necip Pasa Library, Turkiye. *Journal of Building Engineering*, 93, 109890. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.109890>
- Drougka, F., Liakakou, E., Sakka, A., Mitsos, D., Zacharias, N., Mihalopoulos, N., & Gerasopoulos, E. (2020). Indoor Air Quality Assessment at the Library of the National Observatory of Athens, Greece. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(4), 889–903. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.07.0360>
- Guild, S., MacDonald, M., & Strang, T. (2020, Februari 19). *Mould Prevention and Collection Recovery: Guidelines for Heritage Collections – Technical Bulletin 26*. <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/technical-bulletins/mould-prevention-collection-recovery.html>
- Laporan Tahunan Perpustakaan Universitas Indonesia. (2024).
- Moretti, E., Scurpi, F., Proietti, M. G., & Fiore, M. (2024). A Multidisciplinary Approach to the Evaluation of Air Quality and Thermo-Hygrometric Conditions for the Conservation of Heritage Manuscripts and Printed Materials in Historic Buildings: A Case Study of the Sala del Dottorato of the University of Perugia as a Model for Heritage Preservation and Occupants' Comfort. *Applied Sciences*, 14(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/app14125356>
- Niar, C. R. (2019, Oktober 25). *Karakteristik Iklim Regional Di Daerah Tropis*. Warung Sains Teknologi. <https://warstek.com/tropis/>
- Sahin, C. D., Coşkun, T., Arsan, Z. D., & Gökçen Akkurt, G. (2017). Investigation of indoor microclimate of historic libraries for preventive conservation of manuscripts. Case Study: Tire Necip Paşa Library, İzmir-Turkey. *Sustainable Cities and Society*, 30, 66–78. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.11.002>
- Sesana, E., Gagnon, A. S., Ciantelli, C., Cassar, J., & Hughes, J. J. (2021). Climate change impacts on cultural heritage: A literature review. *WIREs Climate Change*, 12(4), e710. <https://doi.org/10.1002/wcc.710>
- Schito, E., Dias Pereira, L., Testi, D., & Gameiro da Silva, M. (2019). A procedure for identifying chemical and biological risks for books in historic libraries based on microclimate analysis. *Journal of Cultural Heritage*, 37, 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.10.005>
- Strlič, M., Grossi, C. M., Dillon, C., Bell, N., Fouseki, K., Brimblecombe, P., Menart, E., Ntanos, K., Lindsay, W., Thickett, D., France, F., & De Bruin, G. (2015). Damage function for historic paper. Part I: Fitness for use. *Heritage Science*, 3(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40494-015-0062-1>



- Tronchin, L., & Fabbri, K. (2017). Energy and Microclimate Simulation in a Heritage Building: Further Studies on the Malatestiana Library. *Energies*, 10(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/en10101621>
- Verticchio, E., Frasca, F., Bertolin, C., & Siani, A. M. (2021). Climate-induced risk for the preservation of paper collections: Comparative study among three historic libraries in Italy. *Building and Environment*, 206, 108394. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108394>
- Verticchio, E., Frasca, F., Cavalieri, P., Teodonio, L., Fugaro, D., & Siani, A. M. (2022). Conservation risks for paper collections induced by the microclimate in the repository of the Alessandrina Library in Rome (Italy). *Heritage Science*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00714-5>

