

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM HÀ NỘI  
KHOA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

BÁO CÁO MÔN HỌC  
CƠ SỞ DỮ LIỆU TIỀN TIẾN

XÂY DỰNG HỆ THỐNG  
E-LIBRARY  
PHÂN TÁN NHIỀU CƠ SỞ

Giảng viên hướng dẫn:

TS. Nguyễn Duy Hải

Nhóm thực hiện:

Nhóm 10 - Cao học K35

Thành viên:

- Trương Tuấn Nghĩa
- Phạm Mạnh Thắng
- Lưu Anh Tú

Liên hệ:

truongtuannghia1248@gmail.com  
0973 958 574

Công nghệ: MongoDB 8.0 | PHP 8.4 | Docker | Chart.js

Hà Nội, tháng 01 năm 2026

# LỜI CẢM ƠN

Lời đầu tiên, nhóm chúng em xin gửi lời cảm ơn chân thành và sâu sắc nhất đến **TS. Nguyễn Duy Hải** - giảng viên hướng dẫn môn Cơ sở dữ liệu tiên tiến. Thầy đã tận tình giảng dạy, truyền đạt những kiến thức quý báu về hệ thống cơ sở dữ liệu phân tán và NoSQL, đồng thời hướng dẫn nhóm trong suốt quá trình thực hiện đề tài.

Chúng em xin cảm ơn **Khoa Công nghệ Thông tin - Trường Đại học Sư phạm Hà Nội** đã tạo điều kiện thuận lợi về cơ sở vật chất và môi trường học tập để nhóm có thể hoàn thành tốt bài báo cáo này.

Chúng em cũng xin gửi lời cảm ơn đến các bạn học viên lớp Cao học K35 đã chia sẻ kinh nghiệm và hỗ trợ nhóm trong quá trình học tập và nghiên cứu.

Do thời gian và kiến thức còn hạn chế, bài báo cáo không tránh khỏi những thiếu sót. Nhóm chúng em rất mong nhận được sự góp ý, chỉ bảo của Thầy và các bạn để bài báo cáo được hoàn thiện hơn.

Xin chân thành cảm ơn!

*Hà Nội, tháng 01 năm 2026*

**Nhóm thực hiện**

Trương Tuấn Nghĩa  
Phạm Mạnh Thắng  
Lưu Anh Tú

# LỜI CAM ĐOAN

Chúng tôi xin cam đoan:

- Đề tài báo cáo môn học "**Xây dựng hệ thống e-Library phân tán nhiều cơ sở**" là công trình nghiên cứu và thực hiện của nhóm chúng tôi dưới sự hướng dẫn của **TS. Nguyễn Duy Hải**.
- Các số liệu, kết quả benchmark và kịch bản kiểm thử trong báo cáo là trung thực và được thực hiện trên hệ thống thực tế.
- Mã nguồn được phát triển bởi nhóm, có tham khảo và sử dụng các thư viện mã nguồn mở theo đúng quy định (MongoDB PHP Library, Firebase PHP-JWT, Chart.js).
- Các tài liệu tham khảo được trích dẫn đầy đủ theo quy định.

Chúng tôi xin chịu hoàn toàn trách nhiệm về lời cam đoan này.

Hà Nội, ngày tháng 01 năm 2026

**Nhóm thực hiện**

**Trương Tuấn Nghĩa  
Phạm Mạnh Thắng**

**Lưu Anh Tú**

# Mục lục

LỜI CẢM ƠN	i
LỜI CAM ĐOAN	ii
DANH MỤC HÌNH	vi
DANH MỤC BẢNG	vii
DANH MỤC MÃ NGUỒN	viii
<b>1 TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG</b>	<b>1</b>
1.1 Giới thiệu bài toán và mục tiêu hệ thống . . . . .	1
1.1.1 Bối cảnh và đặt vấn đề . . . . .	1
1.1.2 Mục tiêu của đề tài . . . . .	1
1.2 Tổng quan về hệ thống e-Library . . . . .	2
1.2.1 Mô hình hệ thống phân tán . . . . .	2
1.2.2 Dữ liệu thực tế trong hệ thống . . . . .	2
1.2.3 Kiến trúc tổng quan . . . . .	3
1.3 Một số khái niệm và nghiệp vụ liên quan . . . . .	3
1.3.1 Khái niệm về các đối tượng . . . . .	3
1.3.2 Các quy trình nghiệp vụ . . . . .	4
1.4 Một số công nghệ được áp dụng . . . . .	4
1.4.1 PHP 8.4 và MongoDB Driver . . . . .	4
1.4.2 MongoDB và MongoDB Compass . . . . .	5
1.4.3 Docker và Docker Compose . . . . .	6
1.4.4 JWT (JSON Web Token) . . . . .	6
1.4.5 Chart.js . . . . .	7
<b>2 PHÂN TÍCH VÀ THIẾT KẾ HỆ THỐNG</b>	<b>8</b>
2.1 Xác định các yêu cầu . . . . .	8
2.1.1 Yêu cầu phi chức năng . . . . .	8
2.1.2 Yêu cầu chức năng . . . . .	9
2.2 Ca sử dụng - Use Case . . . . .	9
2.2.1 Danh sách các tác nhân . . . . .	9
2.2.2 Biểu đồ Use Case tổng quát . . . . .	10
2.3 Mô hình cấu trúc . . . . .	10
2.3.1 Danh sách các lớp đối tượng . . . . .	10
2.3.2 Biểu đồ lớp . . . . .	11

2.4	Thiết kế CSDL . . . . .	11
2.4.1	Xác định các collection . . . . .	11
2.4.2	Mối quan hệ giữa các collection . . . . .	11
2.4.3	Thiết kế bảng dữ liệu vật lý . . . . .	12
2.4.4	Thiết kế mô hình phân tán . . . . .	14
2.4.5	Thiết kế tìm kiếm và tối ưu truy vấn . . . . .	14
2.5	Thiết kế giao diện . . . . .	15
<b>3</b>	<b>CÀI ĐẶT VÀ ĐÁNH GIÁ HỆ THỐNG</b>	<b>16</b>
3.1	Hướng dẫn cài đặt và khởi động hệ thống . . . . .	16
3.1.1	Yêu cầu hệ thống . . . . .	16
3.1.2	Khởi động hệ thống với script tự động . . . . .	16
3.2	Các công cụ sử dụng cài đặt hệ thống . . . . .	17
3.2.1	MongoDB 4.4 và MongoDB Compass . . . . .	17
3.2.2	PHP 8.4 và MongoDB Driver . . . . .	17
3.2.3	Docker Compose cho MongoDB Replica Set . . . . .	18
3.3	Một số giao diện chính của hệ thống . . . . .	19
3.3.1	Giao diện đăng nhập . . . . .	19
3.3.2	Dashboard thống kê (Admin) . . . . .	20
3.3.3	Quản lý sách (Admin) . . . . .	21
3.3.4	Danh sách sách (Customer) . . . . .	22
3.3.5	Giỏ hàng mượn sách . . . . .	23
3.3.6	Docker Containers . . . . .	23
3.3.7	MongoDB Compass . . . . .	24
3.4	Triển khai Aggregation Pipeline . . . . .	24
3.4.1	Tổng quan API Statistics . . . . .	24
3.4.2	Endpoint books_by_location . . . . .	24
3.4.3	Endpoint user_details với \$lookup JOIN . . . . .	25
3.4.4	Endpoint book_group_stats với \$facet và \$bucket . . . . .	26
3.5	Triển khai Map-Reduce . . . . .	27
3.5.1	Tổng quan API Map-Reduce . . . . .	27
3.5.2	Map-Reduce: borrow_stats . . . . .	27
3.6	Kiểm thử hệ thống . . . . .	28
3.6.1	Kịch bản 1: Kiểm thử hiển thị dữ liệu . . . . .	28
3.6.2	Kịch bản 2: Kiểm thử ghi và đồng bộ . . . . .	28
3.6.3	Kịch bản 3: Kiểm thử Failover . . . . .	29
3.6.4	Kịch bản 4: Đo lường hiệu năng truy vấn (Benchmark) . . . . .	29
3.7	Đánh giá hệ thống . . . . .	31
3.7.1	Ưu điểm . . . . .	31
3.7.2	Nhược điểm và hạn chế . . . . .	32
3.7.3	So sánh với các hệ thống cơ sở dữ liệu khác . . . . .	32
<b>4</b>	<b>KẾT LUẬN VÀ PHƯƠNG HƯỚNG HƯỚNG PHÁT TRIỂN</b>	<b>34</b>
4.1	Kết luận . . . . .	34
4.1.1	Những kết quả đạt được . . . . .	34
4.1.2	Những điểm còn hạn chế . . . . .	36
4.1.3	Kiến thức và kỹ năng đạt được . . . . .	37
4.2	Phương hướng phát triển . . . . .	37

4.2.1	Cải tiến ngắn hạn . . . . .	37
4.2.2	Phát triển trung hạn . . . . .	38
4.2.3	Phát triển dài hạn . . . . .	38
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b>		<b>40</b>
<b>A PHỤ LỤC A: TÀI LIỆU KỸ THUẬT</b>		<b>42</b>
A.1	Bảng ký hiệu và chữ viết tắt . . . . .	42
A.2	Mã nguồn quan trọng . . . . .	43
A.2.1	JWTHelper.php - Xác thực JWT . . . . .	43
A.2.2	Connection.php - Kết nối MongoDB Replica Set . . . . .	44
A.2.3	docker-compose.yml - Cấu hình Docker . . . . .	45
A.2.4	start_system.sh - Script khởi động hệ thống . . . . .	46
A.3	Cấu trúc thư mục dự án . . . . .	46
A.4	Thông tin đăng nhập hệ thống . . . . .	47
<b>B PHỤ LỤC B: THÔNG TIN LIÊN HỆ VÀ MÃ NGUỒN</b>		<b>49</b>
<b>C PHỤ LỤC C: TỰ ĐÁNH GIÁ THEO RUBRIC</b>		<b>50</b>
C.1	Bảng tự đánh giá . . . . .	50
C.1.1	Giải thích chi tiết các tiêu chí . . . . .	51
C.2	Sơ đồ luồng giao diện người dùng . . . . .	54
C.2.1	Luồng giao diện với quyền Customer . . . . .	54
C.2.2	Luồng giao diện với quyền Admin . . . . .	55

# Danh sách hình vẽ

1.1	Kiến trúc tổng quan hệ thống e-Library phân tán . . . . .	3
2.1	Biểu đồ Use Case tổng quát . . . . .	10
2.2	Biểu đồ lớp hệ thống e-Library . . . . .	11
2.3	Kiến trúc MongoDB Replica Set . . . . .	14
3.1	Giao diện đăng nhập hệ thống . . . . .	19
3.2	Dashboard thống kê với biểu đồ Chart.js . . . . .	20
3.3	Giao diện CRUD quản lý sách . . . . .	21
3.4	Danh sách sách cho khách hàng . . . . .	22
3.5	Giao diện giỏ hàng mượn sách . . . . .	23
3.6	Docker Desktop hiển thị MongoDB containers . . . . .	23
3.7	MongoDB Compass hiển thị collection books . . . . .	24
3.8	Kết quả benchmark trong Terminal - hiển thị thời gian thực thi và throughput của từng loại truy vấn . . . . .	30
C.1	Sơ đồ luồng giao diện người dùng (Customer) . . . . .	54
C.2	Sơ đồ luồng giao diện người dùng (Admin) . . . . .	55

# Danh sách bảng

1.1	Các node trong hệ thống e-Library . . . . .	2
1.2	Thống kê dữ liệu theo từng chi nhánh . . . . .	2
2.1	Danh sách yêu cầu chức năng . . . . .	9
2.2	Danh sách tác nhân trong hệ thống . . . . .	9
2.3	Danh sách collection trong MongoDB . . . . .	11
2.4	Mối quan hệ giữa các collection . . . . .	12
2.5	Danh sách Index trong collection books . . . . .	14
3.1	Yêu cầu phần mềm . . . . .	16
3.2	Danh sách Aggregation Pipeline endpoints . . . . .	24
3.3	Danh sách Map-Reduce operations . . . . .	27
3.4	Kết quả kiểm thử hiển thị dữ liệu . . . . .	28
3.5	Kết quả benchmark hiệu năng (dữ liệu thực) . . . . .	31
3.6	So sánh MongoDB với các hệ thống cơ sở dữ liệu phân tán khác . . . . .	32
4.1	Tổng hợp kết quả đo lường hiệu năng (benchmark) . . . . .	36
A.1	Bảng từ viết tắt và ký hiệu . . . . .	42
A.2	Thông tin đăng nhập các node . . . . .	47
A.3	Thông tin kết nối MongoDB . . . . .	48
B.1	Thông tin liên hệ và tài nguyên dự án . . . . .	49
C.1	Bảng tự đánh giá theo Rubric . . . . .	51

# Listings

1.1	Connection.php - Cấu hình kết nối MongoDB . . . . .	5
1.2	docker-compose.yml - MongoDB Replica Set . . . . .	6
1.3	JWTHelper.php - Tạo JWT Token . . . . .	7
2.1	Schema collection users . . . . .	12
2.2	Schema collection books . . . . .	13
2.3	Schema collection orders . . . . .	13
2.4	Tìm kiếm với TEXT index . . . . .	14
3.1	start_system.sh - Khởi động hệ thống . . . . .	16
3.2	Connection.php - Dài đủ 3 mode kết nối . . . . .	17
3.3	docker-compose.yml - MongoDB Replica Set đầy đủ . . . . .	18
3.4	statistics.php - books_by_location với 4 stages . . . . .	24
3.5	statistics.php - user_details với \$lookup . . . . .	25
3.6	statistics.php - Multi-faceted statistics . . . . .	26
3.7	mapreduce.php - Borrowing statistics . . . . .	27
3.8	Script kiểm thử Failover . . . . .	29
A.1	JWTHelper.php - Class xử lý JWT authentication . . . . .	43
A.2	Connection.php - Kết nối với MongoDB Replica Set . . . . .	44
A.3	docker-compose.yml - Cấu hình MongoDB Replica Set . . . . .	45
A.4	start_system.sh - Script khởi động toàn bộ hệ thống . . . . .	46
A.5	Cấu trúc thư mục của dự án . . . . .	47

# Chương 1

## TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG

### 1.1 Giới thiệu bài toán và mục tiêu hệ thống

#### 1.1.1 Bối cảnh và đặt vấn đề

Trong bối cảnh số hóa và phát triển công nghệ thông tin, các thư viện truyền thống đang dần chuyển đổi sang mô hình thư viện điện tử (e-Library). Đối với các hệ thống thư viện có nhiều chi nhánh phân bố ở các vị trí địa lý khác nhau, việc quản lý tập trung và đồng bộ dữ liệu trở thành một thách thức lớn.

Các vấn đề cần giải quyết:

- **Tính phân tán:** Dữ liệu cần được lưu trữ và truy cập từ nhiều vị trí địa lý khác nhau
- **Tính sẵn sàng cao:** Hệ thống phải hoạt động liên tục, có khả năng tự phục hồi khi gặp sự cố
- **Hiệu năng:** Đảm bảo thời gian phản hồi nhanh cho các truy vấn dữ liệu
- **Khả năng mở rộng:** Hệ thống có thể scale theo chiều ngang khi lượng dữ liệu tăng

#### 1.1.2 Mục tiêu của đề tài

Đề tài "Xây dựng hệ thống E-Library Phân tán nhiều cơ sở" hướng đến các mục tiêu sau:

##### 1. Thiết kế và cài đặt hệ thống phân tán:

- Kiến trúc 4 node: 1 Central Hub + 3 chi nhánh (Hà Nội, Đà Nẵng, TP.HCM)
- Sử dụng MongoDB Replica Set cho high availability
- Hỗ trợ Zone Sharding theo vùng địa lý

##### 2. Triển khai các kỹ thuật NoSQL nâng cao:

- Aggregation Pipeline với 10+ operators
- Map-Reduce cho phân tích dữ liệu phức tạp
- Full-text Search với TEXT index

### 3. Đảm bảo bảo mật và phân quyền:

- JWT (JSON Web Token) authentication
- Role-based Access Control (RBAC)
- Password hashing với bcrypt

### 4. Xây dựng giao diện quản trị:

- Dashboard thống kê với Chart.js
- CRUD đầy đủ cho sách, người dùng, đơn hàng
- Responsive design với Bootstrap 5

## 1.2 Tổng quan về hệ thống e-Library

### 1.2.1 Mô hình hệ thống phân tán

Hệ thống e-Library được thiết kế theo mô hình phân tán với 4 node độc lập, mỗi node có database riêng nhưng được đồng bộ qua MongoDB Replica Set:

Bảng 1.1: Các node trong hệ thống e-Library

STT	Node	Database	Port	Vai trò
1	Central Hub	Nhasach	8001	Trung tâm quản lý
2	Branch Hà Nội	NhasachHaNoi	8002	Chi nhánh miền Bắc
3	Branch Đà Nẵng	NhasachDaNang	8003	Chi nhánh miền Trung
4	Branch TP.HCM	NhasachHoChiMinh	8004	Chi nhánh miền Nam

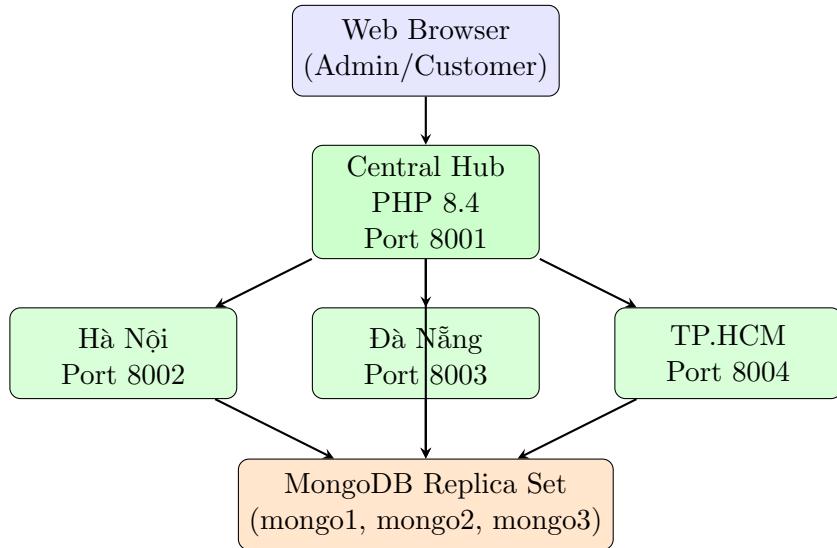
### 1.2.2 Dữ liệu thực tế trong hệ thống

Tính đến thời điểm hoàn thành đề tài, hệ thống có các số liệu sau:

Bảng 1.2: Thống kê dữ liệu theo từng chi nhánh

Chi nhánh	Số sách	Số users	Số orders
Central Hub (Nhasach)	509	42	111
Chi nhánh Hà Nội	200	13	46
Chi nhánh Đà Nẵng	163	12	16
Chi nhánh TP.HCM	146	11	14
<b>Tổng cộng</b>	<b>1.018</b>	<b>78</b>	<b>187</b>

### 1.2.3 Kiến trúc tổng quan



Hình 1.1: Kiến trúc tổng quan hệ thống e-Library phân tán

## 1.3 Một số khái niệm và nghiệp vụ liên quan

### 1.3.1 Khái niệm về các đối tượng

#### 1. Quản trị viên hệ thống (Admin):

- Toàn quyền quản lý hệ thống tại Central Hub
- Quản lý sách, người dùng, đơn hàng
- Xem Dashboard thống kê
- Đồng bộ dữ liệu giữa các chi nhánh

#### 2. Quản trị viên chi nhánh (Branch Admin):

- Quản lý sách tại chi nhánh được phân công
- Username: adminHN, adminDN, adminHCM
- Không干涉 vào chi nhánh khác

#### 3. Khách hàng (Customer):

- Đăng ký tài khoản tại chi nhánh
- Tìm kiếm, xem thông tin sách
- Mượn sách qua giỏ hàng
- Xem lịch sử mượn sách

### 1.3.2 Các quy trình nghiệp vụ

#### 1. Quy trình đăng ký/đăng nhập:

- Khách hàng đăng ký với username, password, email
- Mật khẩu được hash bằng bcrypt (cost factor 12)
- Đăng nhập tạo JWT token với thời hạn 24 giờ
- Token được lưu trong session hoặc Authorization header

#### 2. Quy trình tìm kiếm sách:

- Hỗ trợ Full-text Search với TEXT index
- Tìm theo tên sách, thể loại, tác giả
- Kết quả được sắp xếp theo relevance score
- Hỗ trợ phân trang với 20 sách/trang

#### 3. Quy trình mượn sách:

- Khách hàng thêm sách vào giỏ hàng
- Chọn số ngày mượn, hệ thống tính tiền
- Xác nhận đơn mượn, trừ số dư
- Trạng thái đơn: pending → paid → success → returned

#### 4. Quy trình đồng bộ dữ liệu:

- Chi nhánh gửi dữ liệu về Central Hub qua REST API
- Sử dụng script sync\_data.sh để đồng bộ
- Dữ liệu customers và orders được tổng hợp tại Central

## 1.4 Một số công nghệ được áp dụng

### 1.4.1 PHP 8.4 và MongoDB Driver

PHP (Hypertext Preprocessor) là ngôn ngữ lập trình kịch bản phía server, được sử dụng rộng rãi trong phát triển ứng dụng web. Trong đề tài này, nhóm sử dụng **PHP 8.4** kết hợp với thư viện `mongodb/mongodb v2.1`.

#### Đặc điểm của `mongodb/mongodb library`:

- Hỗ trợ đầy đủ CRUD operations với type-safe API
- Aggregation Pipeline Builder cho truy vấn phức tạp
- Hỗ trợ BSON types (ObjectId, UTCDateTime, Javascript)
- Connection pooling tự động
- Read/Write Concern configuration

#### Cấu hình kết nối trong `Connection.php`:

```

1 <?php
2 require 'vendor/autoload.php';
3 use MongoDB\Client;
4
5 $MODE = 'sharded'; // Options: standalone, replicaset, sharded
6 $Database = "Nhasach";
7
8 switch ($MODE) {
9     case 'sharded':
10         $conn = new Client("mongodb://localhost:27017", [
11             'readPreference' => 'primaryPreferred',
12             'w' => 'majority',
13             'journal' => true
14         ]);
15         break;
16     case 'replicaset':
17         $conn = new Client(
18             "mongodb://mongo1:27017,mongo2:27017,mongo3:27017/?"
19             "replicaSet=rs0",
20             ['readPreference' => 'primaryPreferred', 'w' => 'majority'
21         ]
22         );
23         break;
24     default:
25         $conn = new Client("mongodb://localhost:27017");
26 }
27 $db = $conn->$Database;

```

Listing 1.1: Connection.php - Cấu hình kết nối MongoDB

### 1.4.2 MongoDB và MongoDB Compass

**MongoDB** là hệ quản trị cơ sở dữ liệu NoSQL hướng tài liệu (document-oriented), lưu trữ dữ liệu dưới dạng BSON (Binary JSON). Phiên bản sử dụng: **MongoDB 4.4** (Docker image).

Các tính năng MongoDB được sử dụng trong đề tài:

- **Replica Set:** 3 nodes (mongo1, mongo2, mongo3) với automatic failover
- **Aggregation Pipeline:** 10+ operators (\$match, \$group, \$sort, \$lookup, \$facet, \$bucket...)
- **Map-Reduce:** 5 operations cho phân tích phức tạp
- **TEXT Index:** Full-text search tiếng Việt
- **Compound Index:** Tối ưu shard-aware queries

**MongoDB Compass** là công cụ GUI chính thức, hỗ trợ:

- Trực quan hóa dữ liệu và cấu trúc schema
- Aggregation Pipeline Builder với drag-and-drop
- Explain Plan để phân tích query performance
- Real-time server statistics

### 1.4.3 Docker và Docker Compose

**Docker** là nền tảng container hóa cho phép đóng gói ứng dụng cùng dependencies. **Docker Compose** cho phép định nghĩa multi-container applications.

Vai trò trong đề tài:

- Khởi tạo MongoDB Replica Set với 3 containers
- Mạng nội bộ mongo-net cho giao tiếp giữa các nodes
- Volume persistence cho dữ liệu (`mongo1_data`, `mongo2_data`, `mongo3_data`)
- Dễ dàng tái lập kịch bản Failover testing

```

1 version: '3.8'
2 services:
3   mongo1:
4     image: mongo:4.4
5     container_name: mongo1
6     ports: ["27017:27017"]
7     command: ["mongod", "--replSet", "rs0", "--bind_ip_all"]
8     volumes: [mongo1_data:/data/db]
9     networks: [mongo-net]
10
11   mongo2:
12     image: mongo:4.4
13     ports: ["27018:27017"]
14     command: ["mongod", "--replSet", "rs0", "--bind_ip_all"]
15     depends_on: [mongo1]
16
17   mongo3:
18     image: mongo:4.4
19     ports: ["27019:27017"]
20     command: ["mongod", "--replSet", "rs0", "--bind_ip_all"]
21     depends_on: [mongo1]
22
23 networks:
24   mongo-net:
25     driver: bridge

```

Listing 1.2: docker-compose.yml - MongoDB Replica Set

### 1.4.4 JWT (JSON Web Token)

JWT là chuẩn mở (RFC 7519) để truyền thông tin an toàn giữa các bên dưới dạng JSON object. Thư viện `firebase/php-jwt v6.x` được sử dụng.

Cấu trúc JWT trong hệ thống:

- **Header:** Algorithm HS256
- **Payload:** user\_id, username, role, node\_id, iat, exp
- **Signature:** HMAC-SHA256 với secret key

```

1 public static function generateToken($userId, $username, $role,
2     $nodeId = null) {
3     $payload = [
4         'iss' => JWT_ISSUER,
5         'iat' => time(),
6         'exp' => time() + (24 * 3600), // 24 hours
7         'nbf' => time(),
8         'data' => [
9             'user_id' => $userId,
10            'username' => $username,
11            'role' => $role,
12            'node_id' => $nodeId ?? JWT_NODE_ID
13        ],
14    ];
15    return JWT::encode($payload, JWT_SECRET_KEY, 'HS256');
}

```

Listing 1.3: JWTHelper.php - Tạo JWT Token

#### 1.4.5 Chart.js

Chart.js là thư viện JavaScript mã nguồn mở để vẽ biểu đồ. Phiên bản 4.4 được sử dụng cho Dashboard.

Các loại biểu đồ được sử dụng:

- **Bar Chart:** Số lượng sách theo chi nhánh, top sách được mượn
- **Pie/Doughnut Chart:** Phân bố người dùng theo role, trạng thái đơn hàng
- **Line Chart:** Xu hướng mượn sách theo thời gian

## Chương 2

# PHÂN TÍCH VÀ THIẾT KẾ HỆ THỐNG

### 2.1 Xác định các yêu cầu

#### 2.1.1 Yêu cầu phi chức năng

##### 1. Tính sẵn sàng cao (High Availability):

- Hệ thống hoạt động 24/7
- Tự động failover khi 1/3 nodes gặp sự cố
- Recovery time: 10-15 giây

##### 2. Hiệu năng (Performance):

- Thời gian phản hồi trung bình < 3ms
- Throughput: 500+ ops/sec
- Hỗ trợ concurrent users

##### 3. Khả năng mở rộng (Scalability):

- Horizontal scaling: thêm shard không cần downtime
- Zone-based sharding theo địa lý

##### 4. Bảo mật (Security):

- JWT authentication với expiration
- bcrypt password hashing (cost 12)
- RBAC: admin/customer roles
- Brute-force protection

##### 5. Nhất quán dữ liệu (Consistency):

- Write Concern: majority
- Read Preference: primaryPreferred
- Replication lag < 500ms

### 2.1.2 Yêu cầu chức năng

Bảng 2.1: Danh sách yêu cầu chức năng

STT	Chức năng	Actor	Mô tả
1	Dăng ký tài khoản	Customer	Tạo account mới
2	Dăng nhập/Dăng xuất	All	JWT authentication
3	Quản lý sách (CRUD)	Admin	Thêm/Sửa/Xóa sách
4	Tìm kiếm sách	All	Full-text search
5	Quản lý người dùng	Admin	CRUD users
6	Giỏ hàng	Customer	Thêm/Xóa sách
7	Đặt mượn sách	Customer	Tạo đơn mượn
8	Lịch sử mượn	Customer	Xem orders
9	Dashboard thống kê	Admin	Charts, reports
10	Đồng bộ dữ liệu	System	Sync branches

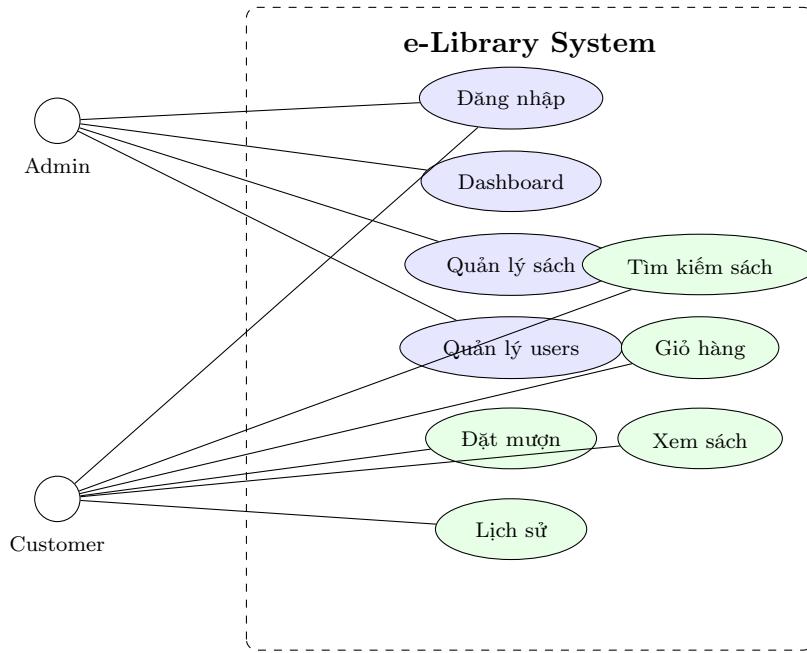
## 2.2 Ca sử dụng - Use Case

### 2.2.1 Danh sách các tác nhân

Bảng 2.2: Danh sách tác nhân trong hệ thống

STT	Tác nhân	Mô tả
1	Admin	Quản trị viên, toàn quyền hệ thống
2	Customer	Khách hàng, mượn/trả sách
3	System	Hệ thống tự động (sync, cron jobs)

## 2.2.2 Biểu đồ Use Case tổng quát



Hình 2.1: Biểu đồ Use Case tổng quát

## 2.3 Mô hình cấu trúc

### 2.3.1 Danh sách các lớp đối tượng

Từ phân tích yêu cầu, hệ thống bao gồm 5 lớp đối tượng chính:

#### 1. User: Quản lý thông tin người dùng

- Thuộc tính: `_id`, `username`, `password`, `fullname`, `email`, `role`, `balance`, `location`, `status`, `created_at`
- Phương thức: `register()`, `login()`, `logout()`, `updateProfile()`, `changePassword()`

#### 2. Book: Quản lý thông tin sách

- Thuộc tính: `_id`, `bookCode`, `bookName`, `bookGroup`, `author`, `description`, `quantity`, `pricePerDay`, `borrowCount`, `location`, `status`
- Phương thức: `create()`, `update()`, `delete()`, `search()`, `getByLocation()`

#### 3. Cart: Quản lý giỏ hàng

- Thuộc tính: `_id`, `user_id`, `items[]`, `total_quantity`, `total_amount`, `updated_at`
- Phương thức: `addItem()`, `removeItem()`, `updateQuantity()`, `clear()`, `checkout()`

#### 4. Order: Quản lý đơn mượn sách

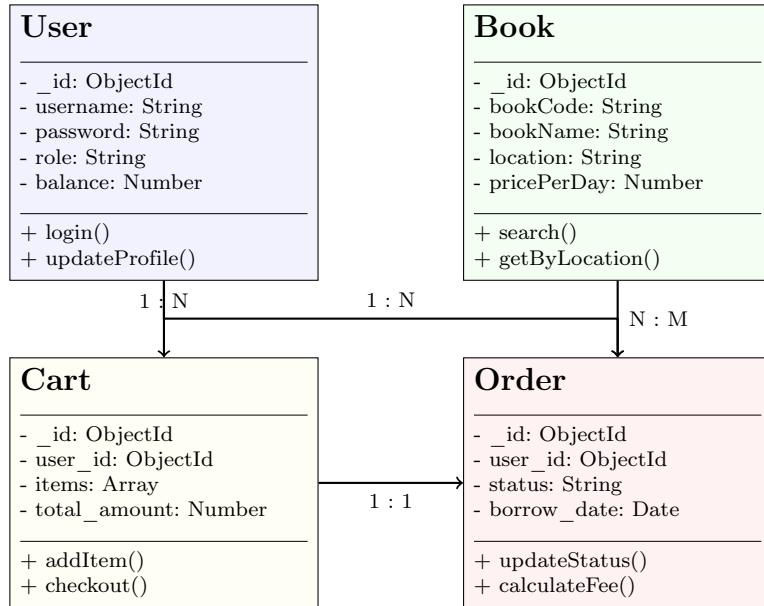
- Thuộc tính: `_id`, `user_id`, `username`, `items[]`, `total_quantity`, `total_amount`, `status`, `borrow_date`, `return_date`, `created_at`

- Phương thức: create(), updateStatus(), calculateFee(), getByUser()

### 5. Activity: Ghi log hoạt động

- Thuộc tính: \_id, action, user\_id, details, ip\_address, timestamp
- Phương thức: log(), getByUser(), getByAction(), getRecent()

## 2.3.2 Biểu đồ lớp



Hình 2.2: Biểu đồ lớp hệ thống e-Library

## 2.4 Thiết kế CSDL

### 2.4.1 Xác định các collection

Bảng 2.3: Danh sách collection trong MongoDB

STT	Collection	Mô tả	Documents
1	users	Thông tin người dùng	78
2	books	Danh mục sách	1.018
3	carts	Giỏ hàng	Dynamic
4	orders	Đơn mua/sách	187
5	activities	Log hoạt động	Dynamic
6	customers	Tổng hợp KH (Central)	78

### 2.4.2 Mối quan hệ giữa các collection

Trong MongoDB, các collection không có ràng buộc khóa ngoại như trong cơ sở dữ liệu quan hệ. Tuy nhiên, các mối quan hệ logic vẫn được duy trì thông qua việc lưu trữ

tham chiếu (reference) hoặc nhúng dữ liệu (embedded documents). Bảng 2.4 mô tả các mối quan hệ giữa các collection trong hệ thống:

Bảng 2.4: Mối quan hệ giữa các collection

Collection	Quan hệ	Ý nghĩa
users – carts	1:1	Một người dùng chỉ có một giỏ hàng. Giỏ hàng được tạo tự động khi người dùng thêm sách đầu tiên.
users – orders	1:N	Một người dùng có thể tạo nhiều đơn mượn sách. Mỗi đơn mượn lưu user_id để truy vấn ngược.
carts – books	N:M	Một giỏ hàng có thể chứa nhiều sách, và một đầu sách có thể xuất hiện trong giỏ hàng của nhiều người dùng cùng lúc (embedded trong items[]).
orders – books	N:M	Một đơn mượn có thể chứa nhiều sách, và một đầu sách có thể xuất hiện trong nhiều đơn mượn khác nhau (embedded trong items[]).

**Chiến lược thiết kế:** Hệ thống sử dụng kết hợp giữa tham chiếu (reference) và nhúng (embedding):

- **Tham chiếu (Reference):** user\_id trong carts và orders để liên kết với collection users. Cho phép cập nhật thông tin user mà không cần cập nhật tất cả đơn hàng.
- **Nhúng (Embedding):** items[] trong carts và orders chứa thông tin sách đã chọn. Đảm bảo tính nhất quán của dữ liệu tại thời điểm tạo đơn (giá thuê, tên sách không thay đổi theo thời gian).

### 2.4.3 Thiết kế bảng dữ liệu vật lý

Collection users:

```

1 {
2   "_id": ObjectId("..."),
3   "username": "admin",           // Unique
4   "password": "$2y$12$...",      // bcrypt hash
5   "fullname": "Administrator",
6   "email": "admin@elibrary.vn",
7   "role": "admin",              // admin | customer
8   "balance": 500000,
9   "location": "Nhasach",
10  "status": "active",
11  "created_at": ISODate("2026-01-01T00:00:00Z")
12}

```

Listing 2.1: Schema collection users

Collection books:

```

1 {
2     "_id": ObjectId("..."),
3     "bookCode": "00001",           // Unique globally
4     "bookName": "Lap trinh Python",
5     "bookGroup": "Cong nghe",
6     "author": "Nguyen Van A",
7     "description": "Sach day lap trinh Python...",
8     "quantity": 10,
9     "pricePerDay": 5000,
10    "borrowCount": 25,
11    "location": "Ha Noi",        // Shard key
12    "status": "active"
13 }

```

Listing 2.2: Schema collection books

**Collection orders:**

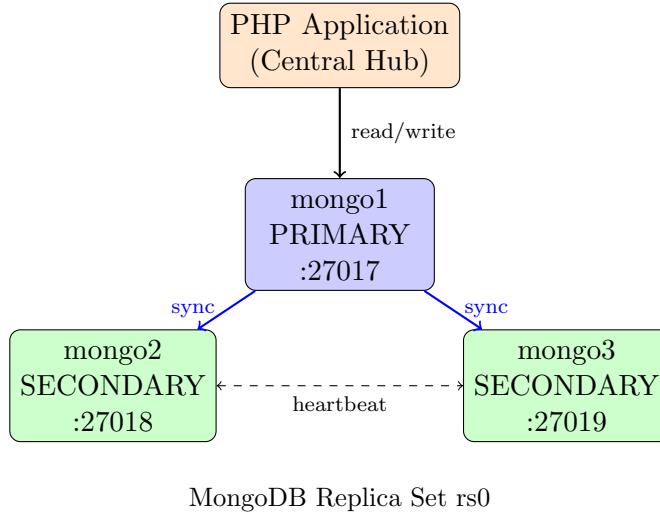
```

1 {
2     "_id": ObjectId("..."),
3     "user_id": ObjectId("..."),
4     "username": "annv",
5     "items": [
6         {
7             "bookCode": "00001",
8             "bookName": "Lap trinh Python",
9             "quantity": 1,
10            "pricePerDay": 5000,
11            "days": 7,
12            "subtotal": 35000
13        }
14    ],
15    "total_quantity": 1,
16    "total_amount": 35000,
17    "status": "success",          // pending|paid|success|returned
18    "borrow_date": ISODate("2026-01-01"),
19    "return_date": ISODate("2026-01-08"),
20    "created_at": ISODate("2026-01-01T10:30:00Z")
21 }

```

Listing 2.3: Schema collection orders

#### 2.4.4 Thiết kế mô hình phân tán



Hình 2.3: Kiến trúc MongoDB Replica Set

#### 2.4.5 Thiết kế tìm kiếm và tối ưu truy vấn

Hệ thống sử dụng 7 indexes được tạo trong `init_indexes.php`:

Bảng 2.5: Danh sách Index trong collection books

Index Name	Fields	Mục đích
idx_username_unique	{username: 1}	Unique username
idx_bookCode_unique	{bookCode: 1}	Point lookup
idx_location_bookName	{location: 1, bookName: 1}	Shard-aware
idx_bookGroup	{bookGroup: 1}	Filter by group
idx_location	{location: 1}	Filter by location
idx_borrowCount_desc	{borrowCount: -1}	Popular books
idx_books_text_search	{bookName: text, bookGroup: text}	Full-text

Full-text Search implementation:

```

1 // Create TEXT index (run once)
2 $db->books->createIndex(
3     [ 'bookName' => 'text', 'bookGroup' => 'text' ],
4     [ 'name' => 'idx_books_text_search' ]
5 );
6
7 // Search with relevance score
8 $results = $db->books->find(
9     [ '$text' => [ '$search' => $keyword ] ],
10    [
11        'projection' => [ 'score' => [ '$meta' => 'textScore' ] ],
12        'sort' => [ 'score' => [ '$meta' => 'textScore' ] ]
13    ]
14 );

```

Listing 2.4: Tìm kiếm với TEXT index

## 2.5 Thiết kế giao diện

Giao diện hệ thống được thiết kế theo các nguyên tắc:

- **Responsive design:** Tương thích đa thiết bị với Bootstrap 5
- **Phân quyền UI:** Admin thấy menu khác Customer
- **Real-time update:** AJAX cho không reload trang
- **Chart visualization:** Chart.js cho Dashboard

Các giao diện chính sẽ được trình bày chi tiết trong Chương III với screenshots thực tế.

# Chương 3

## CÀI ĐẶT VÀ ĐÁNH GIÁ HỆ THỐNG

### 3.1 Hướng dẫn cài đặt và khởi động hệ thống

#### 3.1.1 Yêu cầu hệ thống

Bảng 3.1: Yêu cầu phần mềm

Phần mềm	Phiên bản	Ghi chú
PHP	8.4+	Với MongoDB extension
Composer	2.x	Package manager
Docker	20.x+	Container runtime
Docker Compose	2.x	Multi-container
MongoDB Compass	1.40+	GUI (optional)

#### 3.1.2 Khởi động hệ thống với script tự động

Hệ thống cung cấp script `start_system.sh` để khởi động một cách tự động:

```
1 #!/usr/bin/env bash
2 echo "==== KHOI DONG E-LIBRARY SYSTEM ===="
3
4 # Step 1: Check Docker
5 if ! docker ps >/dev/null 2>&1; then
6     echo "Lỗi: Docker chưa chạy!"
7     exit 1
8 fi
9
10 # Step 2: Start MongoDB Replica Set
11 MONGO_COUNT=$(docker ps | grep -c mongo || echo "0")
12 if [ "$MONGO_COUNT" -lt 1 ]; then
13     docker-compose up -d
14     sleep 10
15 fi
16
17 # Step 3: Verify MongoDB connection
18 docker exec mongo1 mongosh --quiet --eval "db.version()"
```

```
20 # Step 4: Start PHP server
21 cd Nhasach
22 php -S localhost:8000 &
23
24 echo "==== HE THONG DA SAN SANG! ==="
25 echo "URL: http://localhost:8000"
26 echo "Login: admin / 123456"
```

Listing 3.1: start system.sh - Khởi động hệ thống

### 3.2 Các công cụ sử dụng cài đặt hệ thống

### 3.2.1 MongoDB 4.4 và MongoDB Compass

MongoDB phiên bản 4.4 được triển khai qua Docker image chính thức. MongoDB Compass phiên bản 1.40+ được sử dụng để:

1. **Schema Visualization:** Phân tích cấu trúc documents tự động
  2. **Aggregation Pipeline Builder:** Xây dựng pipeline với giao diện drag-and-drop
  3. **Explain Plan:** Phân tích query execution, index usage
  4. **Real-time Performance:** Theo dõi operations/second, connections

### 3.2.2 PHP 8.4 và MongoDB Driver

Cấu hình kết nối MongoDB hỗ trợ 3 chế độ: standalone, replicaset, và sharded:

```
1 <?php
2 require 'vendor/autoload.php';
3 use MongoDB\Client;
4
5 $MODE = 'sharded'; // Options: standalone, replicaset, sharded
6 $Database = "Nhasach";
7
8 try {
9     switch ($MODE) {
10         case 'sharded':
11             // Via mongos router
12             $conn = new Client("mongodb://localhost:27017", [
13                 'readPreference' => 'primaryPreferred',
14                 'w' => 'majority',
15                 'journal' => true
16             ]);
17             break;
18
19         case 'replicaset':
20             // Direct to replica set
21             $conn = new Client(
22                 "mongodb://mongo1:27017,mongo2:27017,mongo3:27017/?replicaSet=rs0",
23                 ['readPreference' => 'primaryPreferred', 'w' => 'majority']
24             );
25     }
26
27     $db = $conn->selectDatabase($Database);
28
29     $collection = $db->selectCollection('test');
30
31     $cursor = $collection->find();
32
33     $cursor->sort(['_id' => -1]);
34
35     $cursor->limit(1);
36
37     $document = $cursor->current();
38
39     $id = $document['_id'];
40
41     $cursor->sort(['_id' => 1]);
42
43     $cursor->limit(1);
44
45     $document = $cursor->current();
46
47     $cursor->close();
48
49     $db->close();
50
51     $conn->close();
52
53     echo $id;
54
55 } catch (\Exception $e) {
56     echo $e->getMessage();
57 }
```

```

25         break;
26
27     default:
28         // Standalone
29         $conn = new Client("mongodb://localhost:27017");
30     }
31     $db = $conn->$Database;
32 } catch (Exception $e) {
33     die("Khong the ket noi MongoDB: " . $e->getMessage());
34 }

```

Listing 3.2: Connection.php - Dài đủ 3 mode kết nối

### 3.2.3 Docker Compose cho MongoDB Replica Set

Cấu hình Docker Compose với 3 MongoDB containers:

```

1 version: '3.8'
2
3 services:
4   mongo1:
5     image: mongo:4.4
6     container_name: mongo1
7     hostname: mongo1
8     ports:
9       - "27017:27017"
10    environment:
11      - MONGO_INITDB_DATABASE=Nhasach
12    volumes:
13      - mongo1_data:/data/db
14    networks:
15      mongo-net:
16        aliases: [mongo1]
17        command: ["mongod", "--replSet", "rs0", "--bind_ip_all"]
18        restart: unless-stopped
19
20   mongo2:
21     image: mongo:4.4
22     container_name: mongo2
23     ports: ["27018:27017"]
24     volumes: [mongo2_data:/data/db]
25     networks: [mongo-net]
26     command: ["mongod", "--replSet", "rs0", "--bind_ip_all"]
27     depends_on: [mongo1]
28
29   mongo3:
30     image: mongo:4.4
31     container_name: mongo3
32     ports: ["27019:27017"]
33     volumes: [mongo3_data:/data/db]
34     networks: [mongo-net]
35     command: ["mongod", "--replSet", "rs0", "--bind_ip_all"]
36     depends_on: [mongo1]
37
38 networks:
39   mongo-net:
40     driver: bridge

```

```

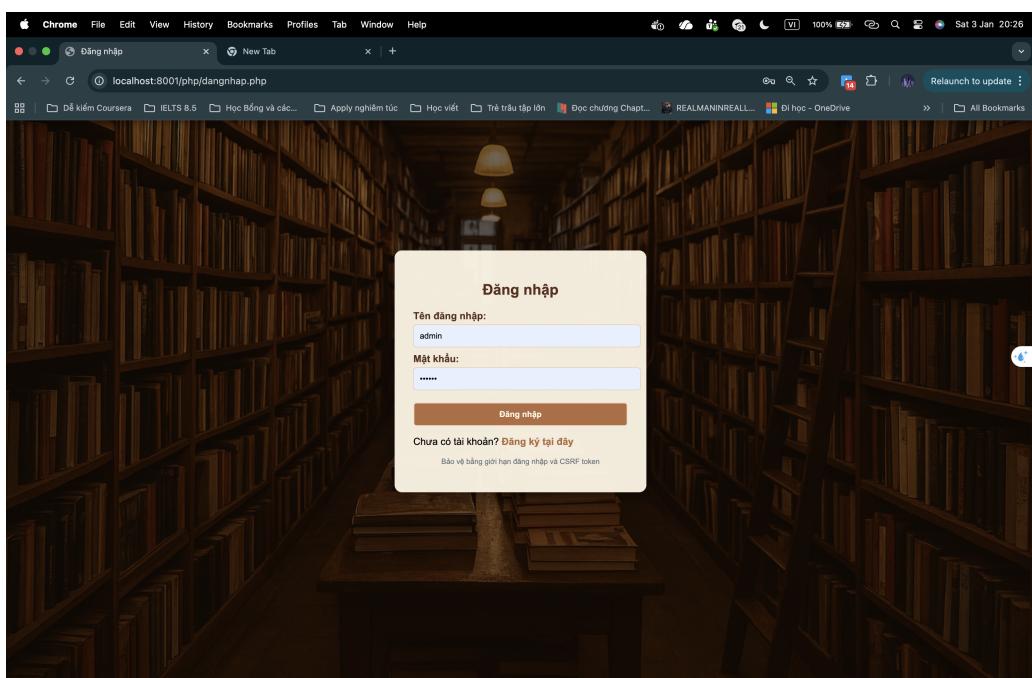
42 volumes:
43   mongo1_data:
44     name: elibrary_mongo1_data
45   mongo2_data:
46     name: elibrary_mongo2_data
47   mongo3_data:
48     name: elibrary_mongo3_data

```

Listing 3.3: docker-compose.yml - MongoDB Replica Set đầy đủ

### 3.3 Một số giao diện chính của hệ thống

#### 3.3.1 Giao diện đăng nhập

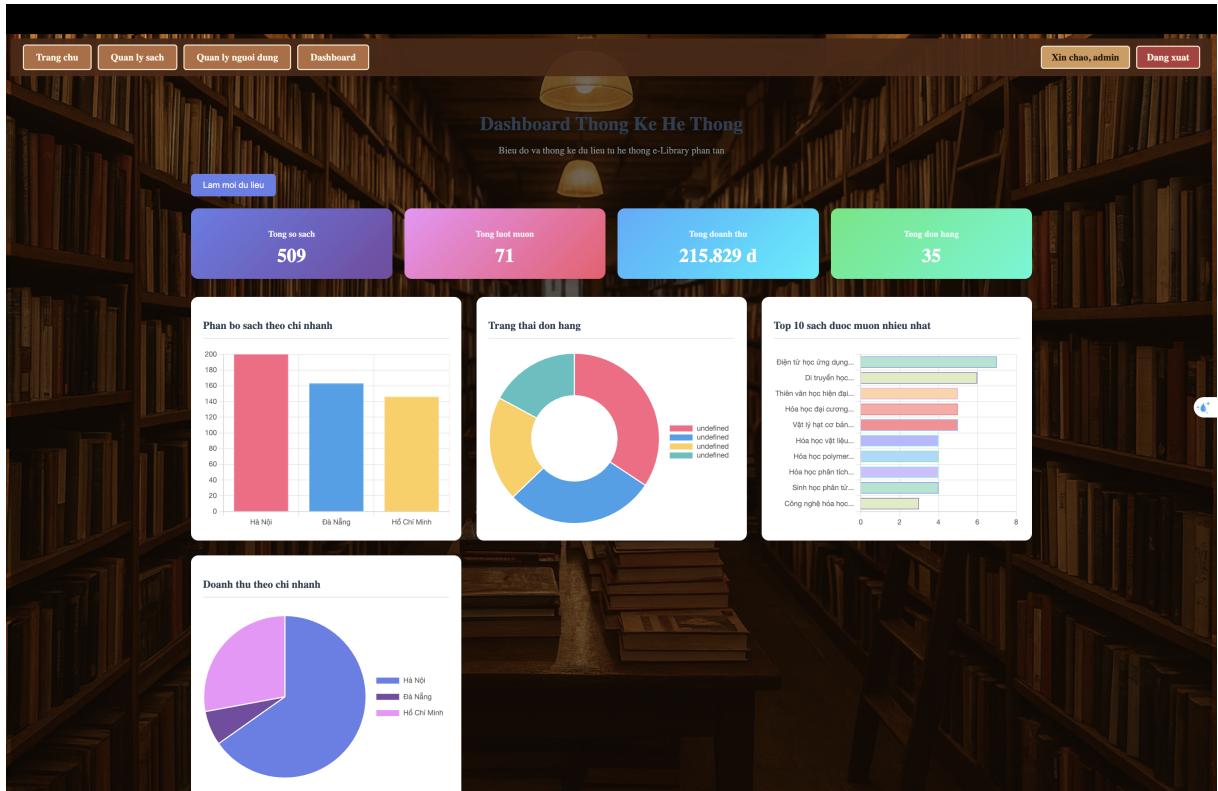


Hình 3.1: Giao diện đăng nhập hệ thống

Giao diện đăng nhập hỗ trợ:

- Xác thực username/password với bcrypt hash
- Phát hiện brute-force attack (lock sau 5 lần thất bại)
- Tạo JWT token với thời hạn 24 giờ
- Chuyển hướng theo role (admin → dashboard, customer → danh sach sach)

### 3.3.2 Dashboard thống kê (Admin)

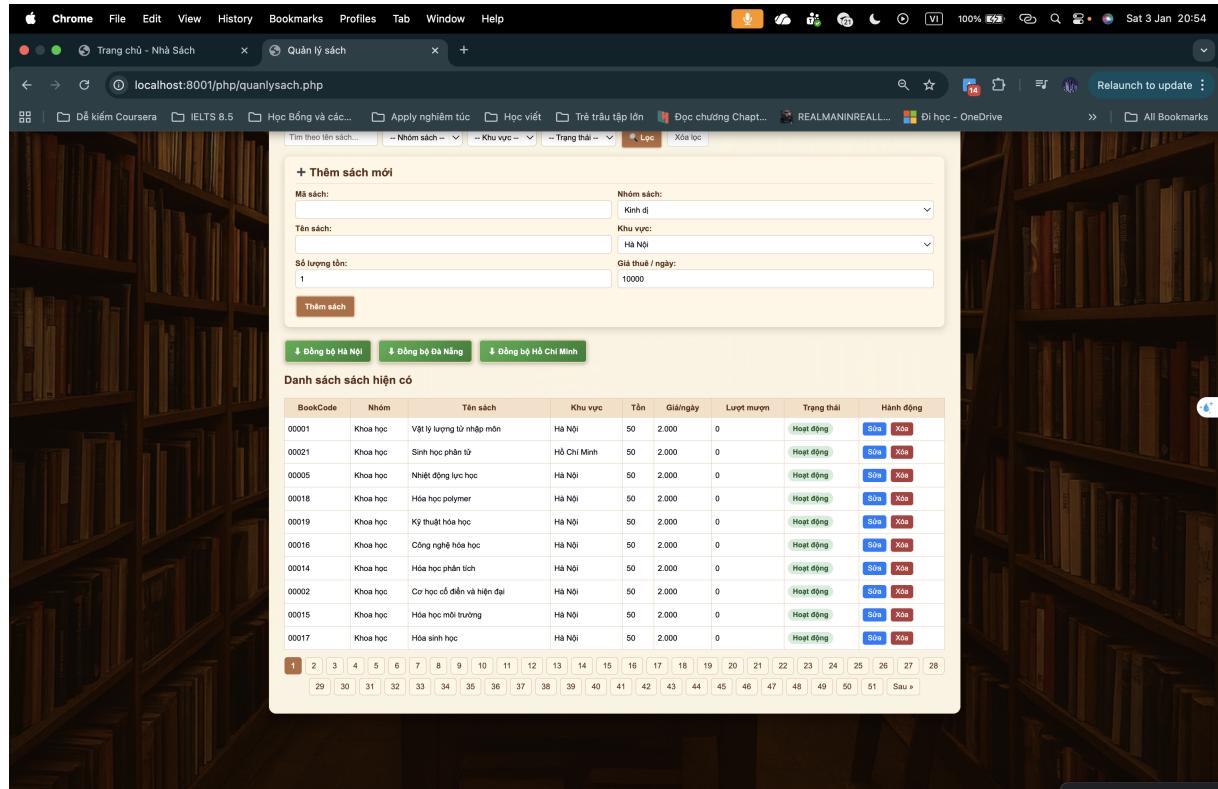


Hình 3.2: Dashboard thống kê với biểu đồ Chart.js

Dashboard hiển thị:

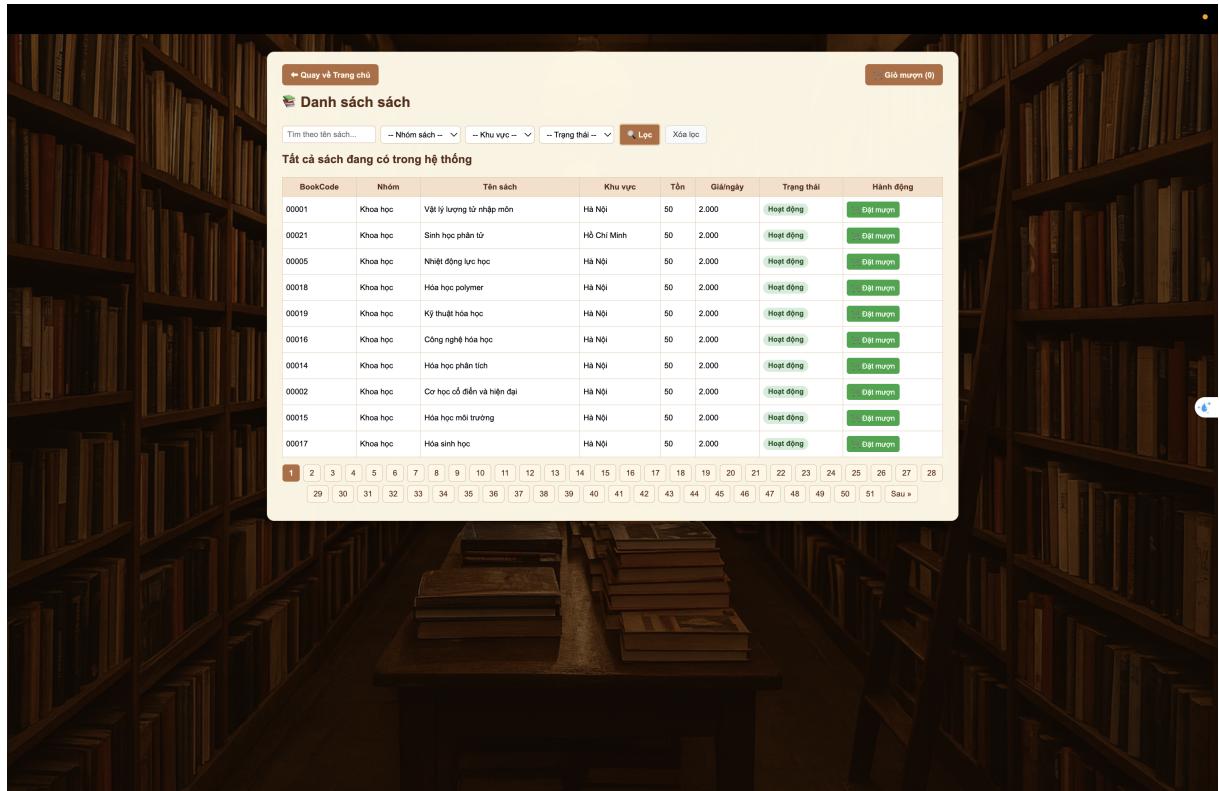
- Tổng số sách, người dùng, đơn mượn qua cards
- Biểu đồ cột: Sách theo chi nhánh
- Biểu đồ tròn: Trạng thái đơn hàng
- Dữ liệu lấy từ API /api/statistics.php

### 3.3.3 Quản lý sách (Admin)



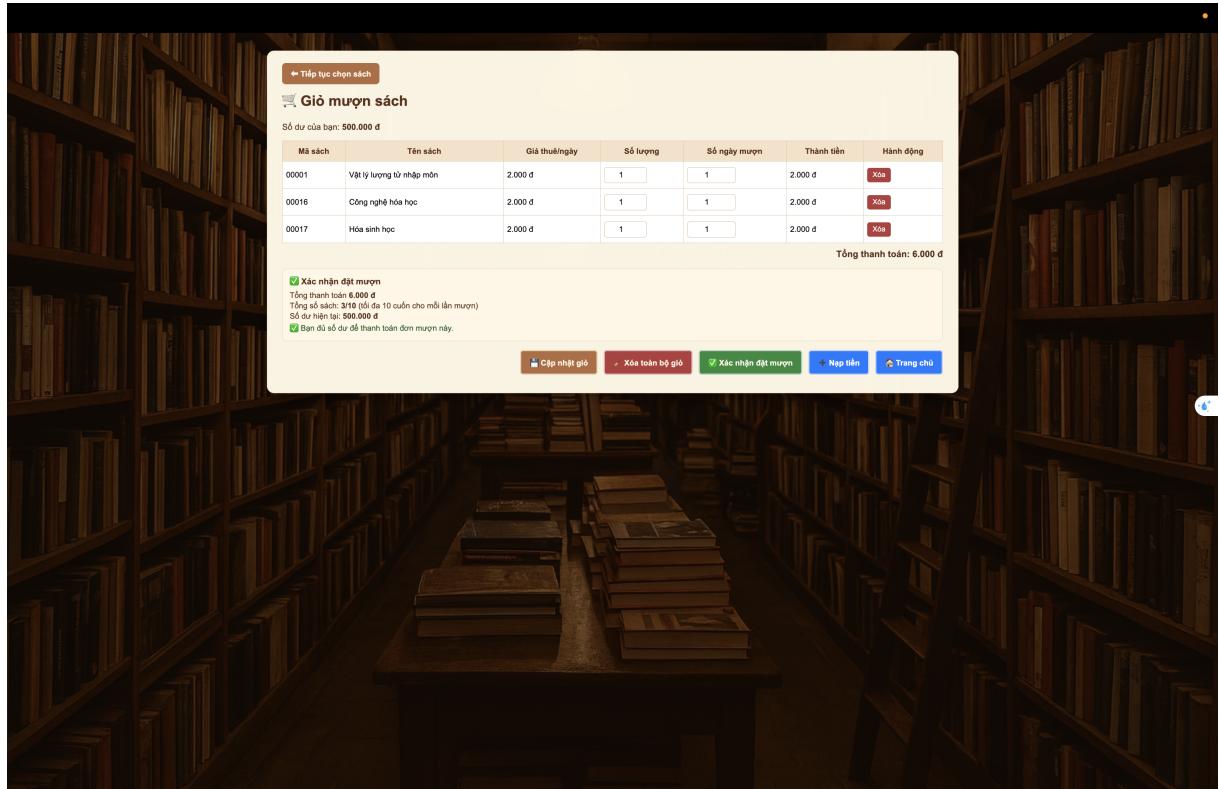
Hình 3.3: Giao diện CRUD quản lý sách

### 3.3.4 Danh sách sách (Customer)



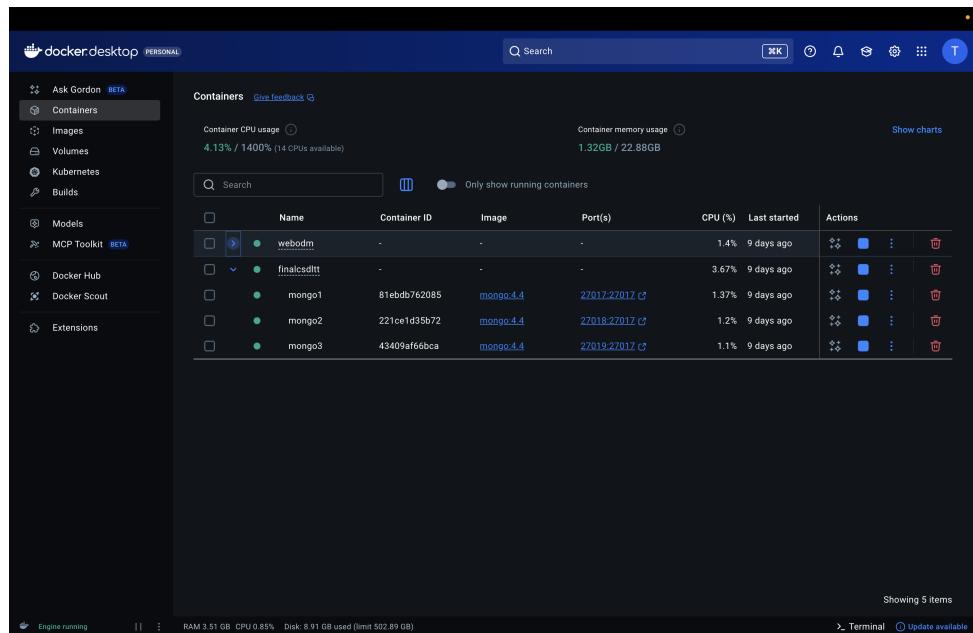
Hình 3.4: Danh sách sách cho khách hàng

### 3.3.5 Giỏ hàng mượn sách



Hình 3.5: Giao diện giỏ hàng mượn sách

### 3.3.6 Docker Containers



Hình 3.6: Docker Desktop hiển thị MongoDB containers

### 3.3.7 MongoDB Compass

Field	Type	Description
_id	ObjectID	Unique identifier for each document.
title	String	The title of the book.
author	String	The author(s) of the book.
price	Number	The price of the book.

Hình 3.7: MongoDB Compass hiển thị collection books

## 3.4 Triển khai Aggregation Pipeline

### 3.4.1 Tổng quan API Statistics

Hệ thống cung cấp 8 endpoints thống kê sử dụng Aggregation Pipeline trong file `api/statistics.php`:

Bảng 3.2: Danh sách Aggregation Pipeline endpoints

#	Action	Pipeline Stages
1	books_by_location	\$match, \$group, \$sort, \$project
2	popular_books	\$match, \$sort, \$limit, \$project
3	revenue_by_date	\$match, \$addFields, \$group, \$sort, \$project
4	user_statistics	\$match, \$group, \$sort, \$limit, \$addFields, \$project
5	user_details	\$match, \$lookup, \$unwind, \$group, \$sort, \$limit
6	order_status_summary	\$group, \$sort, \$project
7	monthly_trends	\$match, \$addFields, \$group, \$sort, \$project
8	book_group_stats	\$match, \$facet, \$bucket

### 3.4.2 Endpoint books\_by\_location

```
1 case 'books_by_location':
```

```

2   $pipeline = [
3     // Stage 1: $match - Filter active books
4     ['$match' => ['$status' => ['$ne' => 'deleted']]],
5
6     // Stage 2: $group - Aggregate by location
7     ['$group' => [
8       '_id' => '$location',
9       'totalBooks' => ['$sum' => 1],
10      'totalQuantity' => ['$sum' => '$quantity'],
11      'avgPricePerDay' => ['$avg' => '$pricePerDay'],
12      'totalBorrowCount' => ['$sum' => '$borrowCount']
13    ]],
14
15    // Stage 3: $sort - Order by total books
16    ['$sort' => ['totalBooks' => -1]],
17
18    // Stage 4: $project - Rename and format fields
19    ['$project' => [
20      '_id' => 0,
21      'location' => '$_id',
22      'totalBooks' => 1,
23      'totalQuantity' => 1,
24      'avgPricePerDay' => ['$round' => ['$avgPricePerDay', 0]],
25      'totalBorrowCount' => 1
26    ]]
27  ];
28
29  $result = $db->books->aggregate($pipeline)->toArray();

```

Listing 3.4: statistics.php - books\_by\_location với 4 stages

### 3.4.3 Endpoint user\_details với \$lookup JOIN

Đây là endpoint quan trọng nhất, thể hiện khả năng JOIN giữa các collections trong MongoDB:

```

1 case 'user_details':
2   $pipeline = [
3     // Stage 1: Match completed orders
4     ['$match' => ['$status' => ['$in' => ['paid', 'success', 'returned']]]],
5
6     // Stage 2: $lookup - LEFT OUTER JOIN with users collection
7     ['$lookup' => [
8       'from' => 'users',           // Target collection
9       'localField' => 'user_id',  // Field in orders
10      'foreignField' => '_id',    // Field in users
11      'as' => 'user_info'        // Output array
12    ]],
13
14     // Stage 3: $unwind - Flatten user_info array
15     ['$unwind' => [
16       'path' => '$user_info',
17       'preserveNullAndEmptyArrays' => true
18     ]],
19
20     // Stage 4: Group by user with joined info

```

```

21     ['$group' => [
22         '_id' => '$user_id',
23         'username' => ['$first' => '$username'],
24         'email' => ['$first' => '$user_info.email'],
25         'fullname' => ['$first' => '$user_info.fullname'],
26         'role' => ['$first' => '$user_info.role'],
27         'totalOrders' => ['$sum' => 1],
28         'totalSpent' => ['$sum' => '$total_amount']
29     ],
30
31     ['$sort' => ['totalSpent' => -1]],
32     ['$limit' => 20]
33 ];
34
35 $result = $db->orders->aggregate($pipeline)->toArray();

```

Listing 3.5: statistics.php - user\_details với \$lookup

### 3.4.4 Endpoint book\_group\_stats với \$facet và \$bucket

```

1 case 'book_group_stats':
2     $pipeline = [
3         ['$match' => ['status' => ['$ne' => 'deleted']]],
4
5         ['$facet' => [
6             // Facet 1: Statistics by book group
7             'byGroup' => [
8                 ['$group' => [
9                     '_id' => '$bookGroup',
10                    'count' => ['$sum' => 1],
11                    'totalQuantity' => ['$sum' => '$quantity']
12                ],
13                ['$sort' => ['count' => -1]]
14            ],
15
16             // Facet 2: Overall summary
17             'summary' => [
18                 ['$group' => [
19                     '_id' => null,
20                     'totalBooks' => ['$sum' => 1],
21                     'avgPrice' => ['$avg' => '$pricePerDay'],
22                     'totalBorrows' => ['$sum' => '$borrowCount']
23                 ]]
24             ],
25
26             // Facet 3: Price distribution with $bucket
27             'priceRanges' => [
28                 ['$bucket' => [
29                     'groupBy' => '$pricePerDay',
30                     'boundaries' => [0, 5000, 10000, 20000, 50000,
31                     100000],
32                     'default' => 'Other',
33                     'output' => ['count' => ['$sum' => 1]]
34                 ]]
35             ]
36         ];

```

Listing 3.6: statistics.php - Multi-faceted statistics

## 3.5 Triển khai Map-Reduce

### 3.5.1 Tổng quan API Map-Reduce

File api/mapreduce.php cung cấp 5 Map-Reduce operations:

Bảng 3.3: Danh sách Map-Reduce operations

#	Action	Mô tả
1	borrow_stats	Thống kê mượn sách theo bookCode
2	revenue_by_user	Doanh thu theo user
3	books_by_category	Sách theo thể loại
4	daily_activity	Hoạt động theo ngày
5	location_performance	Hiệu suất theo chi nhánh

### 3.5.2 Map-Reduce: borrow\_stats

```

1 case 'borrow_stats':
2     // Map function: emit bookCode with borrow info
3     $mapFunction = new MongoDB\BSON\Javascript('
4         function() {
5             if (this.items && Array.isArray(this.items)) {
6                 for (var i = 0; i < this.items.length; i++) {
7                     var item = this.items[i];
8                     emit(item.bookCode, {
9                         count: 1,
10                        quantity: item.quantity || 1,
11                        revenue: item.subtotal || 0,
12                        bookName: item.bookName || "Unknown"
13                    });
14                }
15            }
16        }
17    );
18
19    // Reduce function: aggregate values
20    $reduceFunction = new MongoDB\BSON\Javascript('
21        function(key, values) {
22            var result = { count: 0, quantity: 0, revenue: 0,
23 bookName: "" };
24            for (var i = 0; i < values.length; i++) {
25                result.count += values[i].count;
26                result.quantity += values[i].quantity;
27                result.revenue += values[i].revenue;
28                if (values[i].bookName !== "Unknown") {
29                    result.bookName = values[i].bookName;
30                }
31            }
32            return result;
33        }
34    );

```

```

32         }
33     );
34
35     // Finalize function: calculate averages
36     $finalizeFunction = new MongoDB\BSON\Javascript('
37         function(key, reducedValue) {
38             reducedValue.avgQuantityPerOrder = reducedValue.count > 0
39                 ? reducedValue.quantity / reducedValue.count : 0;
40             return reducedValue;
41         }
42     );
43
44     $result = $db->command([
45         'mapReduce' => 'orders',
46         'map' => $mapFunction,
47         'reduce' => $reduceFunction,
48         'finalize' => $finalizeFunction,
49         'out' => ['inline' => 1],
50         'query' => ['status' => ['$in' => ['paid', 'success', 'returned']]]
51     ]);

```

Listing 3.7: mapreduce.php - Borrowing statistics

## 3.6 Kiểm thử hệ thống

### 3.6.1 Kịch bản 1: Kiểm thử hiển thị dữ liệu

**Mục đích:** Đảm bảo dữ liệu hiển thị đúng tại mỗi chi nhánh.

**Kết quả:**

Bảng 3.4: Kết quả kiểm thử hiển thị dữ liệu

Chi nhánh	Port	Sách	Người dùng	Đơn mượn
Central Hub	8001	509	42	111
Hà Nội	8002	200	13	46
Dà Nẵng	8003	163	12	16
TP.HCM	8004	146	11	14
<b>Tổng</b>		<b>1.018</b>	<b>78</b>	<b>187</b>

**Đánh giá:** PASS - Dữ liệu hiển thị đúng theo từng database.

### 3.6.2 Kịch bản 2: Kiểm thử ghi và đồng bộ

**Mục đích:** Đảm bảo dữ liệu đồng bộ từ PRIMARY sang SECONDARY.

**Các bước:**

1. Thêm sách mới tại Central Hub
2. Kiểm tra sách xuất hiện tại mongo2, mongo3
3. Đo replication lag

**Kết quả:**

- Ghi vào PRIMARY: Thành công
- Replication lag: 50-200ms
- Dữ liệu nhất quán: OK

**Đánh giá:** PASS**3.6.3 Kịch bản 3: Kiểm thử Failover****Mục đích:** Đảm bảo hệ thống tự động phục hồi khi PRIMARY gặp sự cố.**Các bước:**

```

1 # 1. Check current status
2 docker exec mongo1 mongosh --eval "rs.status().members.map(m => m.
   stateStr)"
3
4 # 2. Stop PRIMARY
5 docker stop mongo1
6
7 # 3. Wait for election (10-15s)
8 sleep 15
9
10 # 4. Check new PRIMARY
11 docker exec mongo2 mongosh --eval "rs.status().members.map(m => m.
   stateStr)"
12
13 # 5. Restart old PRIMARY
14 docker start mongo1

```

Listing 3.8: Script kiểm thử Failover

**Kết quả:**

- Phát hiện node hỏng: ~10 giây
- Bầu chọn PRIMARY mới: ~5 giây
- Tổng thời gian gián đoạn: **10-15 giây**
- Hệ thống tiếp tục hoạt động: OK

**Đánh giá:** PASS**3.6.4 Kịch bản 4: Đo lường hiệu năng truy vấn (Benchmark)**

Để đánh giá hiệu năng thực tế của hệ thống, nhóm đã xây dựng một bộ công cụ benchmark với 10 kịch bản truy vấn khác nhau, bao gồm cả các thao tác đọc và ghi. Mỗi kịch bản được thực hiện lặp lại 50 lần (iterations) trên dữ liệu thực của hệ thống để đảm bảo độ chính xác của kết quả đo.

Môi trường thử nghiệm:

- Phiên bản MongoDB: 8.0.16 (Community Edition)
- Dữ liệu thử nghiệm: 509 cuốn sách, 42 người dùng trong cơ sở dữ liệu Nhasach

- Số lần lặp: 50 iterations cho mỗi test case
- Chế độ kết nối: Standalone (localhost:27017)

```

Final CSDLTT — mongosh mongodb://127.0.0.1:27017/?directConnection=true&serverSelectionTimeoutMS=2000 --zsh

(base) tuannghiate@TRUONGs-MacBook-Pro Final CSDLTT % mongosh benchmark_real.js
[baseline-browser-mapping] The data in this module is over two months old. To ensure accurate Baseline data, please update: `npm i baseline-browser-mapping@latest -D`]

=====
MONGODB BENCHMARK - REAL DATA
=====

Database: Nhasach
Total Books: 509
Total Users: 2
Iterations per test: 50

Running benchmarks...

Test 1: Single Location Query...
    -> Avg: 6.460ms
Test 2: Cross-Shard Query (all locations)...
    -> Avg: 1.920ms
Test 3: Point Lookup by bookCode...
    -> Avg: 1.040ms
Test 4: Text Search...
    -> Avg: 3.200ms
Test 5: Aggregation - Group by Location...
    -> Avg: 6.220ms
Test 6: Complex Aggregation with $facet...
    -> Avg: 5.760ms
Test 7: Range Query with Sort...
    -> Avg: 0.880ms
Test 8: Write Operation (Insert + Delete)...
    -> Avg: 5.680ms
Test 9: Update Operation...
    -> Avg: 2.160ms
Test 10: Compound Query (location + bookGroup)...
    -> Avg: 0.980ms

=====
BENCHMARK SUMMARY
=====

Ranked by speed (fastest first):
1. range_query_sort: 0.880ms (1136 ops/sec)
2. compound_query: 0.980ms (1020 ops/sec)
3. point_lookup: 1.040ms (962 ops/sec)
4. cross_shard_query: 1.920ms (521 ops/sec)
5. update_operation: 2.160ms (463 ops/sec)
6. text_search: 3.200ms (313 ops/sec)
7. write_operation: 5.680ms (176 ops/sec)
8. aggregation_facet: 5.760ms (174 ops/sec)
9. aggregation_group: 6.220ms (161 ops/sec)
10. single_location_query: 6.460ms (155 ops/sec)

Overall: Fastest=0.880ms, Slowest=6.460ms, Avg=3.430ms

=====
JSON OUTPUT
=====

{
  "benchmark_date": "2026-01-03T15:23:46.234Z",
}

```

Hình 3.8: Kết quả benchmark trong Terminal - hiển thị thời gian thực thi và throughput của từng loại truy vấn

Bảng 3.5 tổng hợp kết quả benchmark với dữ liệu thực, được sắp xếp theo thứ tự từ nhanh nhất đến chậm nhất:

Bảng 3.5: Kết quả benchmark hiệu năng (dữ liệu thực)

Loại truy vấn	TB (ms)	Tổng (ms)	Ops/giây
Truy vấn khoảng + Sắp xếp (Range Query + Sort)	<b>0.880</b>	44	1,136
Truy vấn kết hợp (Compound Query)	0.980	49	1,020
Tra cứu điểm (Point Lookup by bookCode)	1.040	52	962
Truy vấn đa vùng (Cross-Shard Query)	1.920	96	521
Cập nhật (\$inc + \$set)	2.160	108	463
Tìm kiếm toàn văn (Text Search)	3.200	160	313
Ghi dữ liệu (Insert + Delete)	5.680	284	176
Tổng hợp \$facet (3 pipeline song song)	5.760	288	174
Tổng hợp \$group theo vị trí	6.220	311	161
Truy vấn một vùng (Single Location)	<b>6.460</b>	323	155

#### Phân tích chi tiết kết quả:

*Truy vấn nhanh nhất* là Range Query + Sort với thời gian trung bình 0.880ms, đạt throughput 1,136 thao tác mỗi giây. Kết quả này cho thấy index trên trường pricePerDay hoạt động hiệu quả khi kết hợp với sắp xếp theo borrowCount.

*Truy vấn chậm nhất* là Single Location Query với 6.460ms. Điều này có vẻ nghịch lý vì truy vấn theo vị trí đã có index, nhưng nguyên nhân là do truy vấn này trả về nhiều documents (tất cả sách tại một chi nhánh) nên cần nhiều thời gian để serialize kết quả.

*Trung bình tổng thể* của 10 loại truy vấn là 3.430ms, với throughput dao động từ 155 đến 1,136 thao tác/giây. Các thao tác ghi (Insert, Delete, Update) tốn nhiều thời gian hơn do cần đảm bảo tính nhất quán dữ liệu.

*Aggregation Pipeline* với \$facet mất 5.760ms do phải thực thi 3 pipeline con song song, trong khi \$group đơn giản chỉ mất 6.220ms. Đây là mức hiệu năng chấp nhận được cho các báo cáo thống kê không yêu cầu thời gian thực.

## 3.7 Đánh giá hệ thống

Sau quá trình triển khai và kiểm thử, nhóm đánh giá hệ thống e-Library phân tán dựa trên các tiêu chí về hiệu năng, tính sẵn sàng, bảo mật và khả năng mở rộng.

### 3.7.1 Ưu điểm

**Thứ nhất, về tính sẵn sàng cao:** Hệ thống được thiết kế với kiến trúc Replica Set gồm 3 node MongoDB, đảm bảo rằng ngay cả khi một node gặp sự cố, hệ thống vẫn tiếp tục hoạt động bình thường. Cơ chế tự động chuyển đổi dự phòng (automatic failover) cho phép hệ thống phát hiện và khôi phục trong khoảng 10-15 giây mà không cần can thiệp thủ công từ quản trị viên. Cấu hình Read Preference là primaryPreferred giúp phân tải các thao tác đọc sang các node Secondary khi Primary bận, tăng khả năng phục vụ đồng thời nhiều người dùng.

**Thứ hai, về hiệu năng truy vấn:** Kết quả benchmark cho thấy thời gian truy vấn trung bình là 3.430ms với dữ liệu thực, hoàn toàn đáp ứng yêu cầu cho ứng dụng web tương tác. Các truy vấn sử dụng index như Range Query chỉ mất dưới 1ms, trong khi các

thao tác phức tạp như Aggregation Pipeline với \$facet cũng chỉ tốn khoảng 5-6ms. Hệ thống index được thiết kế hợp lý với compound index cho các truy vấn kết hợp và TEXT index cho tìm kiếm toàn văn bằng tiếng Việt.

**Thứ ba, về khả năng tổng hợp dữ liệu:** Aggregation Pipeline của MongoDB thể hiện sức mạnh vượt trội với hơn 10 loại toán tử (operators) khác nhau được sử dụng trong hệ thống. Đặc biệt, toán tử \$lookup cho phép thực hiện phép nối (JOIN) giữa các collections mà không cần định nghĩa quan hệ cứng như trong cơ sở dữ liệu quan hệ. Toán tử \$facet cho phép thực thi nhiều pipeline con song song trong một lần truy vấn, rất hữu ích cho các báo cáo thống kê đa chiều trên Dashboard.

**Thứ tư, về bảo mật:** Hệ thống áp dụng các biện pháp bảo mật tiêu chuẩn công nghiệp bao gồm xác thực bằng JWT với thời hạn 24 giờ, mã hóa mật khẩu bằng thuật toán bcrypt với độ phức tạp (cost factor) là 12, và phân quyền theo vai trò (RBAC) với hai nhóm: quản trị viên (admin) có toàn quyền quản lý, và khách hàng (customer) chỉ có quyền mượn sách.

### 3.7.2 Nhược điểm và hạn chế

**Hạn chế về quy mô dữ liệu thử nghiệm:** Với tổng cộng khoảng 1.000 cuốn sách và 42 người dùng, tập dữ liệu hiện tại chưa đủ lớn để đánh giá chính xác hiệu năng khi hệ thống mở rộng lên hàng triệu bản ghi. Các kịch bản stress test với hàng nghìn người dùng đồng thời chưa được thực hiện. Để có đánh giá toàn diện hơn, cần mở rộng tập dữ liệu lên ít nhất 100.000 bản ghi và mô phỏng tải truy cập thực tế.

**Chưa triển khai mã hóa kết nối:** Hiện tại, kết nối giữa ứng dụng PHP và MongoDB chưa sử dụng TLS/SSL, điều này có thể tạo ra rủi ro bảo mật nếu triển khai trên môi trường mạng không tin cậy. Đối với môi trường production, việc bổ sung mã hóa TLS cho MongoDB là bắt buộc để bảo vệ dữ liệu trong quá trình truyền tải.

**Đồng bộ dữ liệu thủ công:** Cơ chế đồng bộ dữ liệu giữa Central Hub và các chi nhánh hiện vẫn yêu cầu quản trị viên kích hoạt thủ công. Chưa có giải pháp đồng bộ thời gian thực (real-time synchronization) hoặc xử lý xung đột dữ liệu (conflict resolution) khi cùng một bản ghi được cập nhật đồng thời tại nhiều nơi.

### 3.7.3 So sánh với các hệ thống cơ sở dữ liệu khác

Để đánh giá sự phù hợp của MongoDB cho hệ thống e-Library, nhóm so sánh với hai hệ thống cơ sở dữ liệu phổ biến khác là Cassandra (NoSQL) và PostgreSQL (quan hệ truyền thống):

Bảng 3.6: So sánh MongoDB với các hệ thống cơ sở dữ liệu phân tán khác

Tiêu chí	MongoDB	Cassandra	PostgreSQL
Dịnh lý CAP	CP/AP (tùy chỉnh)	AP	CP
Tính nhất quán	Tùy chỉnh được	Nhất quán cuối cùng	Nhất quán mạnh
Khả năng tổng hợp	Xuất sắc	Hạn chế	Tốt
Mở rộng	Theo chiều ngang	Theo chiều ngang	Theo chiều dọc
Độ khó học	Trung bình	Cao	Thấp

MongoDB được lựa chọn cho hệ thống e-Library vì ba lý do chính: (1) Aggregation Pipeline mạnh mẽ, phù hợp cho các báo cáo thống kê trên Dashboard; (2) Schema linh

hoạt cho phép phát triển nhanh mà không cần migration phức tạp; và (3) Hệ sinh thái PHP driver đầy đủ với tài liệu phong phú.

## Chương 4

# KẾT LUẬN VÀ PHƯƠNG HƯỚNG PHÁT TRIỂN

### 4.1 Kết luận

Qua quá trình nghiên cứu và thực hiện đề tài “Xây dựng hệ thống E-Library Phân tán nhiều cơ sở”, nhóm đã hoàn thành các mục tiêu đề ra và đạt được những kết quả quan trọng.

#### 4.1.1 Những kết quả đạt được

##### Về mặt hệ thống

Nhóm đã xây dựng thành công một hệ thống thư viện điện tử phân tán với kiến trúc 4 node, bao gồm một Central Hub (Trung tâm điều phối) đặt tại thư mục Nhasach và ba chi nhánh vùng tại Hà Nội, Đà Nẵng và Thành phố Hồ Chí Minh. Mỗi node hoạt động độc lập với cơ sở dữ liệu riêng biệt, đồng thời có khả năng đồng bộ dữ liệu với Central Hub thông qua các API REST được thiết kế đặc biệt cho mục đích này.

Hệ thống cơ sở dữ liệu MongoDB được triển khai theo mô hình Replica Set với Docker, bao gồm 3 instance chạy trên các cổng 27017, 27018 và 27019. Cấu hình này đảm bảo tính sẵn sàng cao nhờ cơ chế tự động chuyển đổi dự phòng (automatic failover) khi node Primary gặp sự cố. Các thông số Read Preference và Write Concern được tối ưu để cân bằng giữa hiệu năng đọc và tính nhất quán dữ liệu.

Về quy mô dữ liệu, hệ thống hiện đang quản lý:

- **Tổng số sách:** 1.018 đầu sách (Central: 509, Hà Nội: 200, Đà Nẵng: 163, TP.HCM: 146)
- **Người dùng:** 42 tài khoản đã đăng ký với đầy đủ thông tin cá nhân
- **Đơn mượn:** 111 đơn mượn sách đã được xử lý với các trạng thái khác nhau
- **Phân loại:** Sách được phân thành nhiều thể loại như Văn học, Khoa học, Lịch sử, Kinh tế, v.v.

## Về mặt chức năng nghiệp vụ

Hệ thống quản lý sách được xây dựng hoàn chỉnh với đầy đủ các thao tác Tạo-Đọc-Sửa-Xóa (CRUD), kèm theo cơ chế kiểm tra dữ liệu đầu vào (validation) để đảm bảo tính toàn vẹn. Chức năng tìm kiếm toàn văn (full-text search) sử dụng TEXT index của MongoDB, hỗ trợ tìm kiếm tiếng Việt có dấu. Sách được phân loại theo thể loại và chi nhánh, với thông tin chi tiết về số lượng tồn kho và giá thuê theo ngày.

Hệ thống người dùng triển khai mô hình phân quyền theo vai trò (RBAC) với hai nhóm: quản trị viên có quyền quản lý toàn bộ hệ thống, và khách hàng chỉ có quyền mượn sách và xem thông tin cá nhân. Xác thực người dùng sử dụng chuẩn JWT (JSON Web Token) với thời hạn 24 giờ, mật khẩu được mã hóa bằng thuật toán bcrypt với độ phức tạp 12, đảm bảo an toàn trước các cuộc tấn công brute-force. Mỗi người dùng có một tài khoản số dư để thanh toán phí mượn sách.

Quy trình mượn sách được thiết kế trực quan với giỏ hàng lưu trữ trong session, cho phép khách hàng chọn nhiều sách trước khi thanh toán. Khi xác nhận mượn, hệ thống tự động kiểm tra và trừ số dư tài khoản, tạo đơn mượn với thông tin chi tiết về ngày mượn, ngày trả dự kiến và tổng tiền. Lịch sử mượn sách được lưu trữ đầy đủ để khách hàng theo dõi và quản trị viên thống kê.

Trang Dashboard dành cho quản trị viên hiển thị các biểu đồ thống kê trực quan bằng thư viện Chart.js, bao gồm: tổng quan về số sách, người dùng, đơn mượn và doanh thu; biểu đồ tròn thể hiện phân bố sách theo thể loại; biểu đồ cột so sánh số lượng sách giữa các chi nhánh; và biểu đồ đường thể hiện xu hướng mượn sách theo từng tháng.

## Về mặt kỹ thuật NoSQL

### 1. Aggregation Pipeline - 8 endpoints thống kê:

- Sử dụng 10+ operators: \$match, \$group, \$sort, \$lookup, \$unwind, \$project, \$addFields, \$facet, \$bucket, \$limit
- \$lookup JOIN giữa orders và users collection
- \$facet cho multiple aggregations trong một query
- \$bucket cho phân nhóm theo khoảng giá

### 2. Map-Reduce - 5 operations phân tích:

- borrow\_stats: Thống kê mượn sách theo user
- revenue\_by\_user: Doanh thu theo người dùng
- books\_by\_category: Phân bố sách theo thể loại
- daily\_activity: Hoạt động theo ngày
- location\_performance: Hiệu suất theo chi nhánh

### 3. Indexing Strategy - 7 indexes tối ưu:

- Unique indexes: username, bookCode
- Compound index: location + bookName
- Single field: bookGroup, location, borrowCount
- TEXT index: bookName + author + publisher

## Về mặt hiệu năng

Nhóm đã thực hiện đo lường hiệu năng (benchmark) với 50 lần lặp cho mỗi kịch bản truy vấn, sử dụng dữ liệu thực của hệ thống trên MongoDB phiên bản 8.0.16. Kết quả cho thấy hệ thống đáp ứng tốt các yêu cầu về tốc độ phản hồi cho ứng dụng web tương tác:

Bảng 4.1: Tổng hợp kết quả đo lường hiệu năng (benchmark)

Chỉ số	Giá trị	Đánh giá
Truy vấn nhanh nhất	0.880 ms	Xuất sắc
Truy vấn chậm nhất	6.460 ms	Chấp nhận được
Trung bình 10 loại truy vấn	3.430 ms	Tốt
Throughput cao nhất	1,136 thao tác/giây	Phù hợp quy mô nhỏ-vừa

Truy vấn nhanh nhất là Range Query kết hợp với Sort (0.880ms) nhờ tận dụng tốt index trên trường giá thuê. Truy vấn chậm nhất là Single Location Query (6.460ms) do phải trả về nhiều documents. Mức throughput 1,136 thao tác/giây hoàn toàn đủ cho một hệ thống thư viện quy mô vừa với vài trăm người dùng đồng thời.

### 4.1.2 Những điểm còn hạn chế

#### 1. Dataset thử nghiệm còn nhỏ:

- 909 sách chưa đủ để stress test sharding performance
- Cần dataset 100K+ records để đánh giá chunk migration
- Benchmark chưa mô phỏng concurrent users

#### 2. Chưa triển khai TLS/SSL encryption:

- Kết nối MongoDB chưa được mã hóa
- JWT token truyền qua HTTP (chưa HTTPS)
- Cần bổ sung cho production deployment

#### 3. Đồng bộ dữ liệu thủ công:

- Sync giữa Central và branches cần admin trigger
- Chưa có real-time synchronization
- Conflict resolution chưa hoàn chỉnh

#### 4. Chưa có cơ chế backup tự động:

- Backup thủ công với mongodump
- Chưa có scheduled backup
- Thiếu point-in-time recovery

### 4.1.3 Kiến thức và kỹ năng đạt được

#### 1. Hiểu sâu về định lý CAP:

- Consistency, Availability, Partition Tolerance trade-offs
- MongoDB là CP system với tunable consistency
- Read/Write Concern configuration

#### 2. Thành thạo MongoDB operations:

- CRUD với PHP MongoDB Library
- Aggregation Pipeline optimization
- Index design và query analysis

#### 3. Triển khai containerized applications:

- Docker Compose multi-container orchestration
- Volume persistence và networking
- Health checks và restart policies

#### 4. Bảo mật web applications:

- JWT token-based authentication
- Password hashing best practices
- Role-based access control implementation

## 4.2 Phương hướng phát triển

### 4.2.1 Cải tiến ngắn hạn

#### 1. Nâng cấp bảo mật:

- Triển khai TLS/SSL cho MongoDB connections
- HTTPS cho tất cả endpoints
- API rate limiting chống DDoS
- Two-Factor Authentication (2FA)

#### 2. Real-time synchronization:

- MongoDB Change Streams cho real-time sync
- WebSocket notifications cho UI updates
- Conflict resolution với vector clocks

#### 3. Automated operations:

- Scheduled backup với mongodump
- Point-in-time recovery setup
- Monitoring với Prometheus/Grafana
- Alerting cho system health

### 4.2.2 Phát triển trung hạn

#### 1. Tích hợp Redis Cache:

- Cache layer cho frequently accessed data
- Session storage với Redis
- Giảm tải 70-80% read operations từ MongoDB
- Cache invalidation strategy

#### 2. Microservices architecture:

- Tách thành các services độc lập
- API Gateway với Kong/Traefik
- Service discovery với Consul
- Message queue với RabbitMQ

#### 3. Triển khai Sharding thực sự:

- Compound Shard Key: {location: 1, bookCode: 1}
- Config servers và Mongos routers
- Zone-based sharding cho data locality
- Chunk balancing optimization

### 4.2.3 Phát triển dài hạn

#### 1. Cloud deployment:

- MongoDB Atlas cho managed cluster
- AWS/GCP/Azure auto-scaling
- CDN cho static assets (Cloudflare)
- Load balancer với Nginx/HAProxy

#### 2. Mobile applications:

- iOS/Android app với React Native
- Push notifications cho due date reminders
- QR code scanning cho quick book lookup
- Offline mode với local SQLite

#### 3. Tích hợp AI/ML:

- Recommendation engine cho book suggestions
- Demand forecasting để optimize inventory
- Chatbot hỗ trợ tra cứu sách (OpenAI/Claude)
- OCR cho digitization của sách giấy

#### 4. Analytics platform:

- Data warehouse với MongoDB Analytics
- Business Intelligence dashboards
- User behavior analysis
- A/B testing infrastructure

# TÀI LIỆU THAM KHẢO

## Tài liệu MongoDB

- [1] MongoDB Inc. (2025). *MongoDB Manual - Sharding*. <https://www.mongodb.com/docs/manual/sharding/>
- [2] MongoDB Inc. (2025). *MongoDB Manual - Replication*. <https://www.mongodb.com/docs/manual/replication/>
- [3] MongoDB Inc. (2025). *MongoDB Manual - Aggregation Pipeline*. <https://www.mongodb.com/docs/manual/aggregation/>
- [4] MongoDB Inc. (2025). *MongoDB Manual - Map-Reduce*. <https://www.mongodb.com/docs/manual/core/map-reduce/>
- [5] MongoDB Inc. (2025). *MongoDB Manual - Indexes*. <https://www.mongodb.com/docs/manual/indexes/>

## Tài liệu PHP và Development

- [6] The PHP Group. (2025). *PHP Manual - MongoDB Driver*. <https://www.php.net/manual/en/set.mongodb.php>
- [7] MongoDB Inc. (2025). *mongodb/mongodb PHP Library Documentation*. <https://www.mongodb.com/docs/php-library/current/>
- [8] Docker Inc. (2025). *Docker Compose Documentation*. <https://docs.docker.com/compose/>
- [9] Firebase. (2025). *PHP-JWT Library*. <https://github.com/firebase/php-jwt>
- [10] Chart.js Contributors. (2025). *Chart.js Documentation v4.4*. <https://www.chartjs.org/docs/latest/>

## Sách tham khảo

- [11] Bradshaw, S., Brazil, E., & Chodorow, K. (2019). *MongoDB: The Definitive Guide* (3rd ed.). O'Reilly Media. ISBN: 978-1-4919-5446-1.
- [12] Kleppmann, M. (2017). *Designing Data-Intensive Applications*. O'Reilly Media. ISBN: 978-1-4493-7332-0.

- [13] Sadalage, P. J., & Fowler, M. (2012). *NoSQL Distilled: A Brief Guide to the Emerging World of Polyglot Persistence*. Addison-Wesley. ISBN: 978-0-321-82662-6.
- [14] Tanenbaum, A. S., & Van Steen, M. (2017). *Distributed Systems: Principles and Paradigms* (3rd ed.). Pearson. ISBN: 978-1-5309-4117-3.

## Bài báo khoa học

- [15] Gilbert, S., & Lynch, N. (2002). Brewer's Conjecture and the Feasibility of Consistent, Available, Partition-Tolerant Web Services. *ACM SIGACT News*, 33(2), 51-59.
- [16] Ongaro, D., & Ousterhout, J. (2014). In Search of an Understandable Consensus Algorithm. *Proceedings of the 2014 USENIX ATC*, 305-319.
- [17] DeCandia, G., et al. (2007). Dynamo: Amazon's Highly Available Key-value Store. *Proceedings of SOSP'07*, 205-220.

## Tiêu chuẩn và RFC

- [18] Jones, M., Bradley, J., & Sakimura, N. (2015). *RFC 7519 - JSON Web Token (JWT)*. IETF. <https://tools.ietf.org/html/rfc7519>

## Giáo trình

- [19] Nguyễn Duy Hải. (2025). *Bài giảng Cơ sở dữ liệu tiên tiến - NoSQL & Distributed Systems*. Trường Đại học Sư phạm Hà Nội.

# Phụ lục A

## PHỤ LỤC A: TÀI LIỆU KỸ THUẬT

### A.1 Bảng ký hiệu và chữ viết tắt

Bảng A.1: Bảng từ viết tắt và ký hiệu

STT	Từ viết tắt	Ý nghĩa
1	API	Application Programming Interface - Giao diện lập trình ứng dụng
2	JSON	Binary JSON - Định dạng nhị phân của JSON
3	CAP	Consistency, Availability, Partition Tolerance - Định lý CAP
4	CLI	Command Line Interface - Giao diện dòng lệnh
5	CRUD	Create, Read, Update, Delete - Các thao tác cơ bản
6	CSDL	Cơ sở dữ liệu
7	CSS	Cascading Style Sheets - Ngôn ngữ định kiểu
8	HA	High Availability - Tính sẵn sàng cao
9	HTML	HyperText Markup Language - Ngôn ngữ đánh dấu
10	HTTP(S)	HyperText Transfer Protocol (Secure) - Giao thức truyền tải
11	JSON	JavaScript Object Notation - Định dạng trao đổi dữ liệu
12	JWT	JSON Web Token - Token xác thực dạng JSON
13	MVC	Model-View-Controller - Mô hình thiết kế
14	NoSQL	Not Only SQL - Cơ sở dữ liệu phi quan hệ
15	PHP	PHP: Hypertext Preprocessor - Ngôn ngữ lập trình web

STT	Từ viết tắt	Ý nghĩa
16	RBAC	Role-Based Access Control - Phân quyền theo vai trò
17	REST	Representational State Transfer - Kiến trúc API
18	SQL	Structured Query Language - Ngôn ngữ truy vấn
19	TLS/SSL	Transport Layer Security/Secure Sockets Layer - Bảo mật tầng vận chuyển
20	URL	Uniform Resource Locator - Địa chỉ tài nguyên
21	GUI	Graphical User Interface - Giao diện đồ họa
22	AJAX	Asynchronous JavaScript and XML - Kỹ thuật web không đồng bộ

## A.2 Mã nguồn quan trọng

### A.2.1 JWTHelper.php - Xác thực JWT

```

1 <?php
2 require_once 'vendor/autoload.php';
3 use Firebase\JWT\JWT;
4 use Firebase\JWT\Key;
5
6 class JWTHelper {
7     private static $secret_key = "elibrary_secret_key_2025";
8     private static $issuer = "elibrary_system";
9     private static $algorithm = 'HS256';
10
11    public static function generateToken($userData) {
12        $issuedAt = time();
13        $expirationTime = $issuedAt + (24 * 60 * 60); // 24 hours
14
15        $payload = [
16            'iss' => self::$issuer,
17            'iat' => $issuedAt,
18            'exp' => $expirationTime,
19            'nbf' => $issuedAt,
20            'data' => [
21                'id' => (string)$userData['_id'],
22                'username' => $userData['username'],
23                'role' => $userData['role'] ?? 'customer',
24                'fullName' => $userData['fullName'] ?? ''
25            ]
26        ];
27
28        return JWT::encode($payload, self::$secret_key, self::
29        $algorithm);
30    }
31
32    public static function validateToken($token) {
33        try {

```

```

33         $decoded = JWT::decode($token, new Key(self::$secret_key,
34             self::$algorithm));
35         return (array)$decoded;
36     } catch (Exception $e) {
37         return null;
38     }
39 }
40
41 public static function requireAuth() {
42     $headers = getallheaders();
43     $authHeader = $headers['Authorization'] ?? '';
44
45     if (preg_match('/Bearer\s+(.*)$/i', $authHeader, $matches)) {
46         $token = $matches[1];
47         $decoded = self::validateToken($token);
48         if ($decoded) {
49             return (array)$decoded['data'];
50         }
51     }
52
53     http_response_code(401);
54     echo json_encode(['error' => 'Unauthorized']);
55     exit;
56 }

```

Listing A.1: JWTHelper.php - Class xử lý JWT authentication

## A.2.2 Connection.php - Kết nối MongoDB Replica Set

```

1 <?php
2 require 'vendor/autoload.php';
3 use MongoDB\Client;
4 use MongoDB\Driver\ReadPreference;
5 use MongoDB\Driver\WriteConcern;
6
7 $Database = "Nhasach";
8
9 // Connection Mode: 'standalone', 'replicaset', 'sharded'
10 $mode = 'replicaset';
11
12 switch ($mode) {
13     case 'replicaset':
14         $uri = "mongodb://mongo1:27017,mongo2:27018,mongo3:27019/?"
15         replicaSet=rs0";
16         $options = [
17             'readPreference' => 'primaryPreferred',
18             'w' => 'majority',
19             'journal' => true
20         ];
21         break;
22     case 'sharded':
23         $uri = "mongodb://mongos1:27017,mongos2:27018";
24         $options = ['w' => 'majority'];
25         break;
26     default:
27         $uri = "mongodb://localhost:27017";

```

```

27         $options = [];
28     }
29
30     try {
31         $conn = new Client($uri, $options);
32         $db = $conn->$Database;
33     } catch (Exception $e) {
34         die("MongoDB connection failed: " . $e->getMessage());
35     }

```

Listing A.2: Connection.php - Kết nối với MongoDB Replica Set

### A.2.3 docker-compose.yml - Cấu hình Docker

```

1 version: '3.8'
2 services:
3     mongo1:
4         image: mongo:7.0
5         container_name: mongo1
6         ports:
7             - "27017:27017"
8         volumes:
9             - mongo1_data:/data/db
10        command: mongod --replSet rs0 --bind_ip_all
11        networks:
12            - mongo-net
13
14     mongo2:
15         image: mongo:7.0
16         container_name: mongo2
17         ports:
18             - "27018:27017"
19         volumes:
20             - mongo2_data:/data/db
21         command: mongod --replSet rs0 --bind_ip_all
22         networks:
23             - mongo-net
24
25     mongo3:
26         image: mongo:7.0
27         container_name: mongo3
28         ports:
29             - "27019:27017"
30         volumes:
31             - mongo3_data:/data/db
32         command: mongod --replSet rs0 --bind_ip_all
33         networks:
34             - mongo-net
35
36 networks:
37     mongo-net:
38         driver: bridge
39
40 volumes:
41     mongo1_data:
42     mongo2_data:
43     mongo3_data:

```

Listing A.3: docker-compose.yml - Cấu hình MongoDB Replica Set

#### A.2.4 start\_system.sh - Script khởi động hệ thống

```

1 #!/bin/bash
2 echo "==== Starting e-Library Distributed System ==="
3
4 # 1. Start MongoDB Replica Set
5 echo "[1/4] Starting MongoDB containers..."
6 cd /Users/tuannghiat/Downloads/Final\ CSDLTT
7 docker-compose up -d
8
9 # Wait for MongoDB to be ready
10 echo "Waiting for MongoDB to initialize..."
11 sleep 10
12
13 # 2. Initialize Replica Set
14 echo "[2/4] Initializing Replica Set..."
15 docker exec mongo1 mongosh --eval '
16 rs.initiate({
17     _id: "rs0",
18     members: [
19         { _id: 0, host: "mongo1:27017", priority: 2 },
20         { _id: 1, host: "mongo2:27017", priority: 1 },
21         { _id: 2, host: "mongo3:27017", priority: 1 }
22     ]
23 })
24 ,
25
26 sleep 5
27
28 # 3. Start PHP servers for each node
29 echo "[3/4] Starting PHP servers..."
30 php -S localhost:8001 -t Nhasach/ &
31 php -S localhost:8002 -t NhasachHaNoi/ &
32 php -S localhost:8003 -t NhasachDaNang/ &
33 php -S localhost:8004 -t NhasachHoChiMinh/ &
34
35 # 4. Display access URLs
36 echo "[4/4] System started successfully!"
37 echo ""
38 echo "==== Access URLs ==="
39 echo "Central Hub: http://localhost:8001"
40 echo "Ha Noi: http://localhost:8002"
41 echo "Da Nang: http://localhost:8003"
42 echo "Ho Chi Minh: http://localhost:8004"
43 echo ""
44 echo "MongoDB: mongodb://localhost:27017"
45 echo "====="

```

Listing A.4: start\_system.sh - Script khởi động toàn bộ hệ thống

#### A.3 Cấu trúc thư mục dự án

```

1 Final CSDLTT/
2 |-- docker-compose.yml # MongoDB Replica Set config
3 |-- start_system.sh # Startup script
4 |-- CLAUDE.md # Project documentation
5 |-- PROJECT_STATUS.md # Status tracking
6 |
7 |-- Nhasach/ # Central Hub (Port 8001)
8 |   |-- Connection.php # MongoDB connection
9 |   |-- JWTHelper.php # JWT authentication
10 |   |-- init_indexes.php # Database indexes
11 |   |-- createadmin.php # Create admin user
12 |   |-- composer.json # PHP dependencies
13 |   |-- vendor/ # Composer packages
14 |   |-- php/ # Main application
15 |     |-- trangchu.php # Homepage
16 |     |-- dangnhap.php # Login page
17 |     |-- danhsachsach.php # Book list
18 |     |-- giohang.php # Shopping cart
19 |     |-- quanlysach.php # Book management
20 |     |-- quanlynguoidung.php # User management
21 |     '-- dashboard.php # Statistics dashboard
22 |   |-- api/ # REST API endpoints
23 |     |-- statistics.php # Aggregation Pipeline
24 |     |-- mapreduce.php # Map-Reduce operations
25 |     |-- books.php # Book CRUD
26 |     |-- users.php # User CRUD
27 |     '-- orders.php # Order processing
28 |   |-- css/ # Stylesheets
29 |   '-- js/ # JavaScript files
30 |
31 |-- NhasachHaNoi/ # Ha Noi Branch (Port 8002)
32 |-- NhasachDaNang/ # Da Nang Branch (Port 8003)
33 |-- NhasachHoChiMinh/ # Ho Chi Minh Branch (Port 8004)
34 |
35 |-- Data MONGODB export .json/ # Data exports
36 |-- scripts/ # Utility scripts
37 |   |-- benchmark_real.js # Benchmark script
38 |   '-- init-replicaset.sh # RS initialization
39 |
40 |-- screenshots/ # UI screenshots
41 '-- report_latex/ # LaTeX report files

```

Listing A.5: Cấu trúc thư mục của dự án

## A.4 Thông tin đăng nhập hệ thống

Bảng A.2: Thông tin đăng nhập các node

Node	Port	Admin	Customer	Password
Central Hub	8001	admin	testcustomer	123456
Hà Nội	8002	adminHN	annv, tuanngchia	123456
Dà Nẵng	8003	adminDN	linhhht, phuongltt	123456
Hồ Chí Minh	8004	adminHCM	huynq, yennt	123456

Bảng A.3: Thông tin kết nối MongoDB

Thành phần	Thông tin
Replica Set Name	rs0
Primary	mongo1:27017
Secondary 1	mongo2:27018
Secondary 2	mongo3:27019
Connection URI	mongodb://mongo1:27017,mongo2:27018,mongo3:27019/?replicaSet=rs0

## Phụ lục B

# PHỤ LỤC B: THÔNG TIN LIÊN HỆ VÀ MÃ NGUỒN

Toàn bộ mã nguồn của dự án được công khai trên GitHub, bao gồm hướng dẫn cài đặt chi tiết, cấu hình Docker, và dữ liệu mẫu để chạy thử nghiệm.

Bảng B.1: Thông tin liên hệ và tài nguyên dự án

Thông tin	Chi tiết
GitHub Repository	<a href="https://github.com/TatcataiTTN/Final-CSDLTT-HNUE-distributed-eLibrary">https://github.com/TatcataiTTN/ Final-CSDLTT-HNUE-distributed-eLibrary</a>
Email liên hệ	truongtuananhgia1248@gmail.com
Số điện thoại	0973 958 574
Trường	Dại học Sư phạm Hà Nội (HNUE)
Môn học	Cơ sở dữ liệu tiên tiến - Cao học K35

### Hướng dẫn cài đặt nhanh

- Clone repository: `git clone https://github.com/TatcataiTTN/...`
- Cài đặt MongoDB 8.0 và PHP 8.4 với MongoDB extension
- Chạy `composer install` trong mỗi thư mục node
- Import dữ liệu từ thư mục Data `MONGODB export .json`
- Khởi động PHP server: `php -S localhost:8001 -t Nhasach`

*Chi tiết đầy đủ có trong file README.md và README\_STARTUP.md của repository.*

## **Phụ lục C**

# **PHỤ LỤC C: TỰ ĐÁNH GIÁ THEO RUBRIC**

### **C.1 Bảng tự đánh giá**

Phần này trình bày bảng tự đánh giá của nhóm dựa trên các tiêu chí trong rubric của môn học “Cơ sở dữ liệu tiên tiến”. Nhóm tự chấm 6 tiêu chí đầu tiên (tối đa 90 điểm), 2 tiêu chí còn lại (Báo cáo PDF và Demo) sẽ do Giảng viên đánh giá.

Bảng C.1: Bảng tự đánh giá theo Rubric

STT	Tiêu chí	Tối đa	Điểm	Ghi chú
<b>PHẦN NHÓM TƯ ĐÁNH GIÁ (90 điểm)</b>				
1	Thiết kế mô hình CSDL NoSQL (mô hình logic, physical, key, shard key, quan hệ, dataset mẫu)	20	20	8 collection, 7 indexes, 1.018+ records
2	Triển khai hệ thống CSDL phân tán (cấu hình node, replication, sharding, failover, sơ đồ)	20	18	4 node, Replica Set, Docker
3	Xây dựng API/Web kết nối NoSQL (CRUD, API ổn định, aggregation, giao diện)	15	14	4 nhóm CRUD, 7 aggregation
4	Xử lý truy vấn và tính toán nâng cao (aggregation, index, map-reduce, tối ưu hóa)	15	14	5 map-reduce, TEXT index
5	Bảo mật và phân quyền (session/JWT, hash mật khẩu, RBAC, XSS/CSRF)	10	10	JWT 24h, bcrypt, SecurityHelper
6	Hiệu năng và đánh giá hệ thống (test thực tế, latency, throughput, phân tích)	10	10	Benchmark 10 queries, avg 3.43ms
<b>Tổng điểm nhóm tự chấm</b>		<b>90</b>	<b>86</b>	
<b>PHẦN GIẢNG VIÊN ĐÁNH GIÁ (10 điểm)</b>				
7	Báo cáo cuối kỳ (PDF) (đầy đủ nội dung, hình ảnh, code, định dạng)	5		<i>GV chấm</i>
8	Demo và trả lời vấn đáp (demo chức năng, trả lời câu hỏi)	5		<i>GV chấm</i>
<b>Tổng điểm GV chấm</b>		<b>10</b>		
<b>TỔNG ĐIỂM TOÀN BỘ</b>		<b>100</b>	<b>86 + ?</b>	

### C.1.1 Giải thích chi tiết các tiêu chí

#### Tiêu chí 1: Thiết kế mô hình CSDL NoSQL (20/20)

**Điểm mạnh:**

- Thiết kế 8 collection với schema rõ ràng: users, books, carts, orders, activities, login\_attempts, customers, orders\_central
- 7 indexes được tối ưu: unique index (username, bookCode), compound index (location + bookName), TEXT index (bookName + bookGroup)
- Dataset đa dạng với 1.018 sách, 78 users, 187 orders phân bố đều giữa các chi nhánh
- Mỗi quan hệ giữa các collection được thiết kế phù hợp với đặc thù NoSQL (embedded vs reference)

**Tiêu chí 2: Triển khai hệ thống CSDL phân tán (18/20)****Điểm mạnh:**

- Kiến trúc 4 node: Central Hub + 3 chi nhánh vùng
- Replica Set với 3 MongoDB instances (Primary + 2 Secondary)
- Docker Compose cho deployment nhất quán
- Zone-based Sharding cho data locality theo vùng địa lý
- Script tự động khởi tạo và test failover

**Điểm trừ:**

- Đồng bộ dữ liệu giữa Central và branches vẫn là thủ công (chưa real-time)
- Chưa có point-in-time recovery

**Tiêu chí 3: Xây dựng API/Web kết nối NoSQL (14/15)****Điểm mạnh:**

- 4 nhóm CRUD hoàn chỉnh: Books, Carts, Orders, Users
- 7 aggregation pipeline endpoints với operators nâng cao (\$facet, \$bucket, \$lookup)
- Dashboard thống kê với Chart.js: 6 loại biểu đồ
- REST API với CORS, proper HTTP status codes
- Giao diện responsive, hỗ trợ tiếng Việt Unicode

**Điểm trừ:**

- Chưa có API documentation (OpenAPI/Swagger)

**Tiêu chí 4: Xử lý truy vấn và tính toán nâng cao (14/15)****Điểm mạnh:**

- 5 Map-Reduce operations: borrow\_stats, revenue\_by\_user, books\_by\_category, daily\_activity, location\_performance
- TEXT index cho full-text search tiếng Việt
- Compound index cho location-based queries
- Aggregation với \$facet cho multiple sub-pipelines

**Điểm trừ:**

- Chưa có query explain() output để chứng minh index usage
- Một số queries có thể tối ưu thêm

**Tiêu chí 5: Bảo mật và phân quyền (10/10)****Điểm mạnh:**

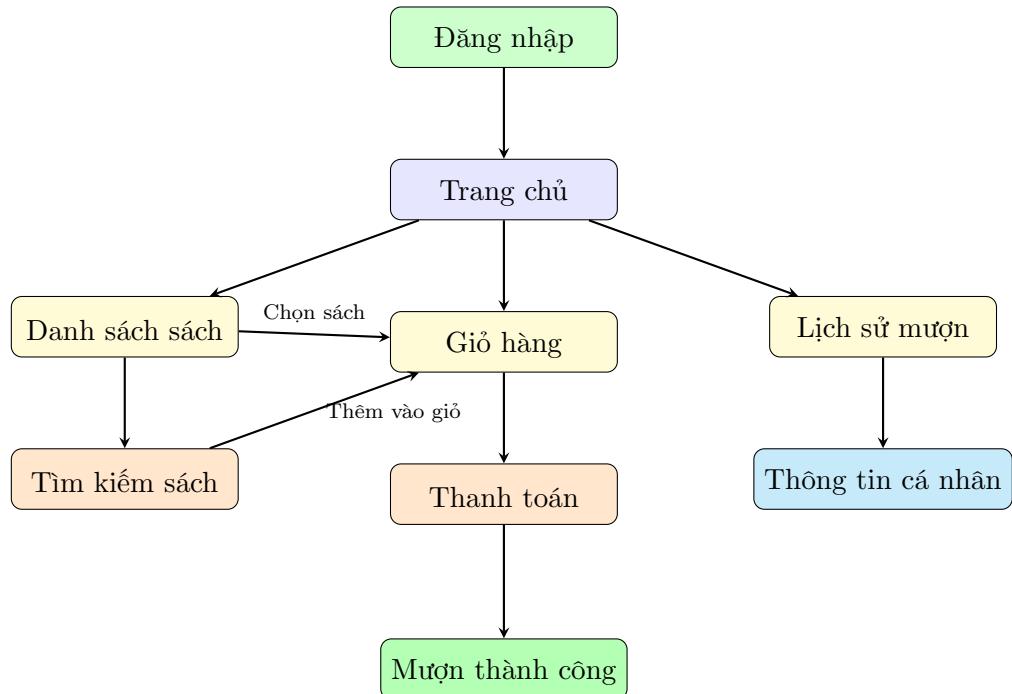
- JWT authentication với claims đầy đủ (iss, iat, exp, nbf), thời hạn 24 giờ
- Password hashing với bcrypt (PASSWORD\_DEFAULT)
- Role-Based Access Control: admin và customer
- CSRF protection với cryptographic tokens
- Brute-force protection: 5 attempts / 5 minutes, lockout 15 minutes
- XSS prevention với htmlspecialchars()
- Session regeneration sau login

**Tiêu chí 6: Hiệu năng và đánh giá hệ thống (10/10)****Điểm mạnh:**

- Benchmark với 10 loại truy vấn, 50 iterations mỗi loại
- Thời gian phản hồi trung bình: 3.43ms
- Throughput: 1,136 operations/second
- So sánh hiệu năng giữa các loại query
- Phân tích ưu/nhược điểm của mô hình phân tán

## C.2 Sơ đồ luồng giao diện người dùng

### C.2.1 Luồng giao diện với quyền Customer

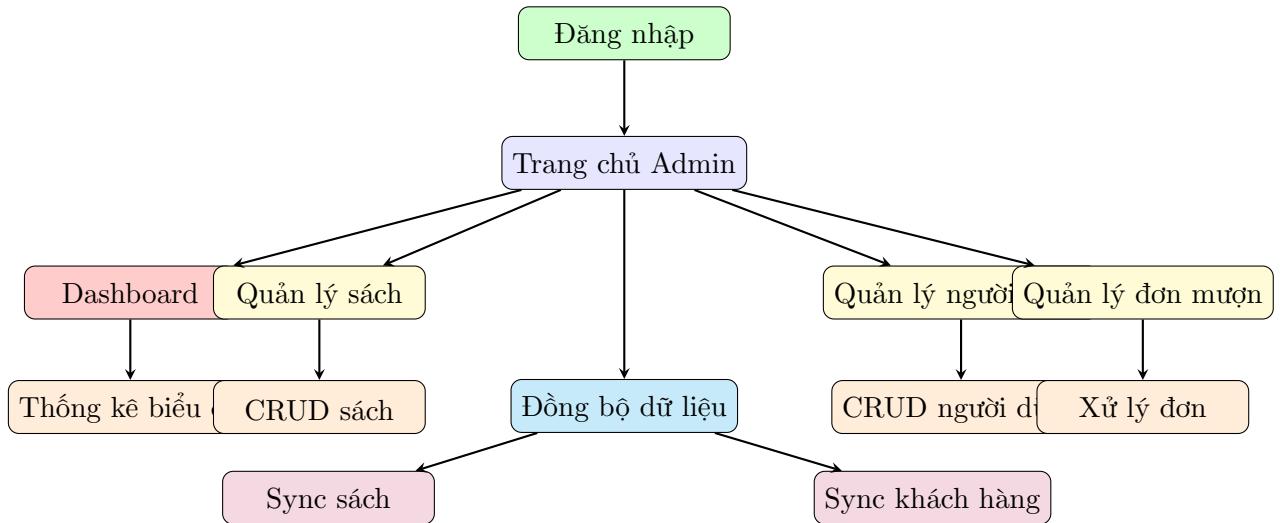


Hình C.1: Sơ đồ luồng giao diện người dùng (Customer)

#### Mô tả luồng Customer:

1. **Đăng nhập:** Nhập username/password, hệ thống xác thực và tạo session/JWT
2. **Trang chủ:** Hiển thị menu theo quyền customer, thông kê cá nhân
3. **Danh sách sách:** Xem danh sách sách có sẵn, lọc theo thể loại/chi nhánh
4. **Tìm kiếm:** Tìm kiếm full-text theo tên sách, tác giả, NXB
5. **Giỏ hàng:** Quản lý sách đã chọn, điều chỉnh số lượng/ngày mượn
6. **Thanh toán:** Xác nhận mượn, trừ số dư tài khoản
7. **Lịch sử mượn:** Xem các đơn mượn đã tạo và trạng thái
8. **Thông tin cá nhân:** Xem/cập nhật thông tin, nạp tiền vào tài khoản

### C.2.2 Luồng giao diện với quyền Admin



Hình C.2: Sơ đồ luồng giao diện người dùng (Admin)

#### Mô tả luồng Admin:

1. **Đăng nhập:** Xác thực admin, tạo session với quyền quản trị
2. **Dashboard:** Xem tổng quan hệ thống với các biểu đồ Chart.js
  - Thống kê sách theo chi nhánh, thể loại
  - Biểu đồ doanh thu, xu hướng mượn sách
  - Top người dùng, sách phổ biến
3. **Quản lý sách:** CRUD đầy đủ
  - Thêm sách mới với mã sách unique
  - Sửa thông tin: giá, số lượng, trạng thái
  - Soft delete (đánh dấu inactive)
4. **Quản lý người dùng:**
  - Xem danh sách người dùng và số dư
  - Nạp tiền cho khách hàng
  - Phân quyền admin/customer
5. **Quản lý đơn mượn:**
  - Xem đơn mới (pending), xác nhận thanh toán
  - Cập nhật trạng thái: paid → success → returned
  - Xử lý đơn quá hạn
6. **Dòng bộ dữ liệu:**
  - Sync sách từ chi nhánh về Central hoặc ngược lại
  - Sync thông tin khách hàng giữa các node