

PENGEMBANGAN DAN PENGUJIAN *DATA WAREHOUSE* DAN *SPATIAL ONLINE ANALYTICAL PROCESSING* TITIK PANAS KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN

ZAM ZAM SAEFUL BAHTIAR



**PROGRAM MAGISTER ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Pengembangan dan Pengujian *Data Warehouse* dan *Spatial Online Analytical Processing* Titik Panas Kebakaran Hutan dan Lahan” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2026

Zam Zam Saeful Bahtiar
G6501231055

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

ZAM ZAM SAEFUL BAHTIAR. Pengembangan dan Pengujian *Data Warehouse* dan *Spatial Online Analytical Processing* Titik Panas Kebakaran Hutan dan Lahan. Dibimbing oleh IMAS SUKAESIH SITANGGANG dan ANNISA.

Kebakaran hutan dan lahan (karhutla) di Indonesia menjadi ancaman serius terhadap konservasi lingkungan dan keanekaragaman hayati. Sistem *Spatial Online Analytical Processing* (SOLAP) untuk analisis titik panas telah dikembangkan pada penelitian sebelumnya namun masih memiliki keterbatasan signifikan. Pemasukan data titik panas ke dalam *data warehouse* dilakukan secara manual tanpa mekanisme pembaruan otomatis sehingga data tidak dapat diperbarui secara berkala. Platform analitik yang digunakan memiliki kerentanan keamanan *critical* seperti CVE-2018-12353, CVE-2018-12354, dan CVE-2018-12355. Keterbatasan ini menghambat kemampuan sistem dalam menyediakan data terkini untuk analisis dan mitigasi kebakaran hutan serta membahayakan keamanan sistem secara keseluruhan.

Penelitian ini bertujuan membangun *data warehouse* dan SOLAP dengan mekanisme *Extract, Transform, and Load* (ETL) otomatis untuk menganalisis persebaran titik panas guna membantu upaya pencegahan karhutla. Sistem mengintegrasikan data titik panas dari NASA FIRMS dengan berbagai sumber satelit dan data cuaca dari Visual Crossing Weather API. Data dikelola dalam *data warehouse* ClickHouse menggunakan skema galaksi yang terdiri dari 2 tabel fakta serta 5 tabel dimensi. Proses ETL menggunakan Apache *Airflow* yang terjadwal setiap 15 menit untuk pembaruan data otomatis.

Hasil penelitian menunjukkan sistem SOLAP berhasil dikembangkan dengan kemampuan memperbarui data titik panas secara otomatis. Pengujian fungsional mencapai tingkat keberhasilan 100% dengan total 82 skenario pengujian berhasil. Pengujian *stress testing* menggunakan k6 membuktikan sistem mampu menangani beban tinggi dengan 300 *virtual users* menghasilkan 32.114 *request* tanpa mengalami *error* sama sekali dan rata-rata *response time* sebesar 573,91 ms.

Pengujian keamanan tidak menemukan kerentanan *critical* pada komponen sistem sehingga mengatasi masalah keamanan yang ditemukan pada penelitian sebelumnya. Sistem berhasil menampilkan titik panas dengan teknik *clustering* untuk optimasi visualisasi dan mendukung hierarki lokasi 5 *level* meliputi pulau, provinsi, kabupaten, kecamatan dan desa serta hierarki waktu 5 *level* meliputi tahun, semester, kuartal, bulan, dan minggu. Temuan penting lainnya adalah integrasi data cuaca yang memungkinkan analisis korelasi antara kondisi cuaca dengan kejadian titik panas.

Kata kunci: *data warehouse*, ETL, kebakaran hutan dan lahan, SOLAP, titik panas

SUMMARY

ZAM ZAM SAEFUL BAHTIAR. Development and Testing of a Data Warehouse and Spatial OLAP for Forest and Land Fire Hotspots. Supervised by IMAS SUKAESIH SITANGGANG and ANNISA.

Forest and land fires in Indonesia pose a serious threat to environmental conservation and biodiversity. A Spatial Online Analytical Processing (SOLAP) system for hotspot analysis had been developed in previous research but still had significant limitations. Hotspot data entry into the data warehouse was done manually without an automatic update mechanism so data could not be updated periodically. The analytics platform used had critical security vulnerabilities such as CVE-2018-12353, CVE-2018-12354, and CVE-2018-12355. These limitations hindered the system's ability to provide current data for forest fire analysis and mitigation and endangered overall system security.

This research aims to build a data warehouse and SOLAP with an automated Extract, Transform, and Load (ETL) mechanism to analyze hotspot distribution to help prevent forest and land fires. The system integrates hotspot data from NASA FIRMS with various satellite sources and weather data from Visual Crossing Weather API. Data is managed in a ClickHouse data warehouse using a galaxy schema consisting of 2 fact tables and 5 dimension tables. The ETL process uses Apache Airflow scheduled every 15 minutes for automatic data updates. The backend API is developed using Go programming language and the frontend uses Astro with TypeScript for an interactive user interface.

Research results show the SOLAP system was successfully developed with the capability to update hotspot data automatically. Functional testing achieved a 100 percent success rate with a total of 82 test scenarios passed. Stress testing using k6 proved the system capable of handling high loads with 300 virtual users generating 32,114 requests without any errors and an average response time of 573.91 ms.

Security testing found no critical vulnerabilities in system components thus addressing security issues found in previous research. The system successfully displays hotspots with clustering techniques for visualization optimization and supports a 5-level location hierarchy including island, province, regency, district, and village and a 5-level time hierarchy including year, semester, quarter, month, and week. Other important findings include weather data integration enabling correlation analysis between weather conditions and hotspot occurrences.

Keywords: data warehouse, ETL, forest and land fires, hotspots, SOLAP



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PENGEMBANGAN DAN PENGUJIAN *DATA WAREHOUSE* DAN *SPATIAL ONLINE ANALYTICAL PROCESSING* TITIK PANAS KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN

ZAM ZAM SAEFUL BAHTIAR

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Magister Ilmu Komputer

**PROGRAM MAGISTER ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tesis:
Rina Trisminingsih S.Kom., M.T., Ph.D.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

Judul Tesis : Pengembangan dan Pengujian *Data Warehouse* dan *Spatial Online Analytical Processing* Titik Panas Kebakaran Hutan dan Lahan

Nama : Zam Zam Saeful Bahtiar

NIM : G6501231055

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si M.Kom.

NIP. 19750130 199802 2 001



Pembimbing 2:

Dr. Eng. Annisa S.Kom., M.Kom.

NIP. 19790731 200501 2 002



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Irman Hermadi S.Kom., M.S., Ph.D.

NIP 19750311 200604 1 009



Dekan Sekolah Sains Data, Matematika dan Informatika:

Prof. Dr. Ir. Agus Buono, M.Si., M.Kom

NIP. 1966070 2199302 1 001



Tanggal Ujian: 17 Juni 2026

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Desember 2024 sampai bulan Januari 2026 ini dengan judul “Pengembangan dan Pengujian *Data Warehouse* dan *Spatial Online Analytical Processing* Titik Panas Kebakaran Hutan dan Lahan”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Ibunda Kuraesin dan Ayahanda (alm) Diding, serta Kedua Kakak, atas segala dukungan dan do'a yang telah diberikan.
2. Ibu Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si M.Kom selaku dosen pembimbing utama dan dan Ibu Dr. Eng. Annisa S.Kom., M.Kom selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing dan banyak memberikan arahan dan saran.
3. Dosen penguji Ibu Rina Trisminingsih S.Kom., M.T., Ph.D dan moderator Bapak Hari Agung Adrianto, S.Kom., M.Si., Ph.D.
4. Seluruh dosen S2 Ilmu Komputer IPB.
5. Teman-teman seperjuangan S2 Ilmu Komputer 2023.
6. Seluruh pihak yang telah memberikan dukungan sehingga tesis ini dapat diselesaikan.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juni 2026

Zam Zam Saeful Bahtiar

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Karakteristik Titik Panas	4
2.2 <i>Data Warehouse</i>	7
2.3 <i>Extract, Transform and Load (ETL)</i>	7
2.4 <i>Spatial Online Analytical Processing (SOLAP)</i>	9
2.5 Arsitektur Penelitian Terkait	10
III METODE	12
3.1 Tahapan Penelitian	12
3.2 Tahapan Perencanaan	12
3.3 Perancangan <i>Data Warehouse</i>	16
3.4 Perancangan <i>Extract, Transform and Load (ETL)</i>	20
3.5 Perancangan <i>Spatial Online Analytical Processing (SOLAP)</i>	24
3.6 Pengujian	25
3.7 Lingkungan Pengembangan	27
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Persiapan Data	28
4.2 Implementasi <i>Data Warehouse</i>	28
4.3 Implementasi <i>Extract, Transform and Load (ETL)</i>	31
4.4 Implementasi <i>Spatial Online Analytical Processing (SOLAP)</i>	35
4.5 Pengujian	38
4.6 Analisis Hasil Pengujian	44
V SIMPULAN DAN SARAN	46
5.1 Simpulan	46
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	52
RIWAYAT HIDUP	76

DAFTAR TABEL

1	Satelit- <i>sensor</i> yang digunakan NASA FIRMS	6
2	Perbandingan platform data pipeline pada proses transformasi	8
3	Perbandingan arsitektur penelitian terkait	10
4	Daftar kebutuhan fungsional	13
5	Daftar kebutuhan non fungsional	14
6	Struktur tabel fact_hotspot	17
7	Struktur tabel fact_weather	17
8	Struktur tabel staging_hotspot	19
9	Struktur tabel staging_weather	19
10	Respon NASA FIRMS	22
11	Kasus uji fitur sistem	38
12	Hasil pengujian kasus uji fitur sistem	39
13	Kasus uji kesesuaian data fungsi OLAP	39
14	Hasil pengujian kasus uji fungsi OLAP	41
15	Hasil pengujian <i>stress testing</i>	43
16	Hasil pengujian keamanan	44

DAFTAR GAMBAR

1	Modis dalam mengobservasi titik panas	4
2	Titik panas pada setiap instrumen	5
3	Arsitektur Kimbal pada <i>data warehouse</i>	7
4	Tahapan penelitian	12
5	Tahapan perencanaan	12
6	Arsitektur konseptual <i>three tier</i>	14
7	Arsitektur sistem secara keseluruhan	15
8	Skema <i>galaxy</i>	16
9	Alur Airflow <i>daily</i>	20
10	Alur Airflow <i>backfill</i>	21
11	Ilustrasi pengujian	25
12	Pengajuan permintaan arsip data historis dari Januari 2015 hingga Oktober 2025	28
13	<i>Staging hotspot</i>	29
14	<i>Staging weather</i>	29
15	Dimensi period	30
16	Dimensi lokasi	30
17	Dimensi satelit	30
18	Dimensi <i>confidence</i>	30
19	Dimensi kondisi cuaca	30
20	Tabel fakta <i>hotspot</i>	31
21	Tabel fakta cuaca	31

22	Konfigurasi ETL DAG <i>daily</i> di <i>Airflow</i>	32
23	Konfigurasi ETL DAG <i>backfilll</i> di <i>Airflow</i>	32
24	Kode validasi wilayah Indonesia	33
25	Daftar sumber data satelit NASA FIRMS	34
26	Klasifikasi tingkat kepercayaan berdasarkan Permen LHK No. 8 Tahun 2018	35
27	Operasi <i>roll up</i>	36
28	Implementasi <i>drill down</i> pada hierarki lokasi	36
29	Implementasi operasi <i>slice</i> lewat <i>filter confidence</i> dan satelit	37
30	Operasi <i>dice</i> pada halaman peta dengan <i>filter date range</i>	37
31	Konfigurasi Grafana k6	43

DAFTAR LAMPIRAN

1	Data keluaran Visual Crossing	53
2	Kasus Uji Fitur Sistem SOLAP Titik Panas	56
3	Kasus Uji Fungsi OLAP	64
4	Kasus Uji Keamanan	69

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.