

Arsitektur Integrasi Data Geospasial Multipihak untuk Mendukung Penataan Ruang Laut yang Tangguh dan Berbasis Keamanan

Ivanhoe¹, Asep Iwa Soemantri², Rudiyanto³

^{1,2,3}Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Indonesia

ivanhoe@km.idu.ac.id¹, asepiwasoemantri@yahoo.com², rudiyanto@umt.edu.my³

*Corresponding Author

Article Info

Article history:

Received : 29 April, 2026

Revised : 4 Mei, 2026

Accepted : 25 Mei, 2026

Kata Kunci:

Data geospasial;

Informasi geospasial;

Integrasi data;

Keamanan maritim;

Penataan ruang laut;

Pertukaran data

Abstrak

Penataan ruang laut Indonesia memerlukan data geospasial dari berbagai institusi, tetapi tidak ada protokol standar untuk pertukaran data antara Badan Informasi Geospasial, Kementerian Kelautan dan Perikanan, dan TNI Angkatan Laut. Penelitian ini merancang arsitektur integrasi yang dapat menjembatani kebutuhan teknis dan operasional ketiga institusi. Penelitian menggunakan wawancara mendalam dengan perwakilan teknis dari tiga institusi, dilanjutkan dengan perancangan arsitektur berbasis *service-oriented architecture* dan pengujian prototipe menggunakan data batimetri dan batas wilayah perairan. Arsitektur yang dirancang terdiri dari tiga layer: data *acquisition*, data *processing*, dan *service delivery*. Pengujian menunjukkan waktu respons rata-rata 2,3 detik untuk dataset berukuran 500MB dengan tingkat akurasi metadata 94%. Protokol pertukaran yang diusulkan dapat mengakomodasi perbedaan tingkat keamanan data antar institusi. Implementasi arsitektur integrasi dapat meningkatkan efisiensi pertukaran data geospasial antar institusi dan mendukung pengambilan keputusan penataan ruang laut yang lebih cepat.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki wilayah laut seluas 5,8 juta kilometer persegi dengan lebih dari 17.000 pulau. Pengelolaan ruang laut memerlukan koordinasi data geospasial dari berbagai institusi (Butcher, 2004; Suyarso, 2019). Badan Informasi Geospasial bertanggung jawab atas pemetaan dasar dan infrastruktur data spasial nasional. Kementerian Kelautan dan Perikanan mengelola data sumber daya kelautan. TNI Angkatan Laut memiliki data hidrografi dan keamanan maritim (Dewanti & Tjahyono, 2019). Saat ini tidak ada mekanisme pertukaran data yang terstandar. Akibatnya terjadi duplikasi pengumpulan data, inkonsistensi informasi, dan lambatnya respons terhadap kebutuhan perencanaan ruang laut.

Integrasi data geospasial memerlukan pendekatan yang mempertimbangkan aspek teknis dan organisasional (Masser, 2005; Rajabifard et al., 2002). Dalam konteks maritim, kompleksitas bertambah karena adanya data dengan tingkat keamanan berbeda, format yang beragam, dan kebutuhan akses real-time untuk operasi keamanan (Wright & Bartlett, 2000). Wulandari et al. (2020) menemukan bahwa kurangnya interoperabilitas data menjadi hambatan utama koordinasi antar lembaga maritim di Indonesia. Pengembangan Marine Spatial Data Infrastructure di Australia dan Norwegia menunjukkan bahwa kesuksesan integrasi data bergantung pada kesepakatan protokol teknis dan governance yang jelas (Strain et al., 2006; Longhorn, 2004).

Penelitian ini merancang arsitektur integrasi data geospasial untuk konteks multipihak dengan tingkat keamanan berlapis. Tujuan penelitian adalah merancang arsitektur yang dapat mengakomodasi perbedaan kebutuhan teknis dan operasional ketiga institusi, mengidentifikasi mekanisme pertukaran data yang aman dan efisien, dan menguji kelayakan implementasi melalui pengembangan prototipe. Arsitektur yang diusulkan berbasis service-oriented architecture dengan penambahan layer keamanan dan metadata standar untuk memastikan data dapat dipertukarkan tanpa mengorbankan aspek kerahasiaan.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan framework untuk spatial data infrastructure. Rajabifard et al. (2002) mengusulkan model SDI yang terdiri dari lima komponen: data, teknologi, standar, kebijakan, dan people. Model ini banyak diadopsi untuk pengembangan SDI di berbagai negara tetapi belum memperhitungkan kebutuhan spesifik data maritim dengan tingkat keamanan berlapis. Longhorn (2004) mengembangkan framework khusus untuk Marine Spatial Data Infrastructure yang mempertimbangkan karakteristik data kelautan seperti dynamic bathymetry dan temporal variation. Framework ini berhasil diimplementasikan di beberapa negara Eropa tetapi memerlukan adaptasi untuk konteks Indonesia yang melibatkan institusi militer dalam data sharing.

Penelitian di Indonesia mengenai integrasi data geospasial maritim masih terbatas. Dewanti dan Tjahyono (2019) melakukan kajian status infrastruktur data geospasial kelautan di Indonesia dan menemukan bahwa hambatan utama adalah ketiadaan standar metadata dan format data yang berbeda antar institusi. Wulandari et al. (2020) mengidentifikasi bahwa hambatan data sharing tidak hanya bersifat teknis tetapi juga organisasional, termasuk kepemilikan data dan kekhawatiran keamanan. Penelitian-penelitian tersebut mengidentifikasi masalah tetapi belum mengusulkan solusi teknis yang dapat diimplementasikan.

Artikel ini disusun dengan struktur sebagai berikut: bagian Methods menjelaskan pendekatan analisis kebutuhan dan perancangan arsitektur, bagian Results and Discussions memaparkan desain arsitektur yang diusulkan beserta hasil pengujian prototipe, dan bagian Conclusion merangkum temuan utama serta rekomendasi implementasi.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan dari Januari hingga Oktober 2025 di tiga lokasi: Badan Informasi Geospasial Cibinong untuk analisis kebutuhan data peta dasar, Kementerian Kelautan dan Perikanan Jakarta untuk analisis kebutuhan data zona perikanan, dan Dinas Hidro-Oseanografi TNI AL Jakarta untuk analisis kebutuhan data hidrografi dan keamanan. Pengembangan dan pengujian prototipe dilakukan di laboratorium Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika BIG Cibinong.

Pengumpulan Data dan Analisis Kebutuhan

Tahap pertama menggunakan wawancara mendalam terstruktur dengan perwakilan teknis dari ketiga institusi. Responden dipilih berdasarkan kriteria: memiliki pengalaman minimal tiga tahun dalam pengelolaan data geospasial maritim dan terlibat langsung dalam kegiatan pertukaran data antar institusi. Total ada sembilan responden, masing-masing tiga orang dari setiap institusi. Dari BIG, responden berasal dari Deputy Infrastruktur Informasi Geospasial dan Deputy Survei Hidrografi. Dari KKP, responden berasal dari Pusat Data dan Informasi. Dari TNI AL, responden berasal dari Dinas Hidro-Oseanografi.

Wawancara berfokus pada lima aspek: jenis data yang dipertukarkan dengan institusi lain, frekuensi pertukaran data dan volume data yang ditransfer, format data yang digunakan saat ini dan masalah kompatibilitas yang dihadapi, hambatan teknis dan non-teknis dalam pertukaran data, serta kebutuhan tingkat keamanan untuk berbagai jenis data. Wawancara dilakukan secara tatap muka dengan durasi 60 hingga 90 menit per responden. Hasil wawancara direkam dengan izin responden dan ditranskrip untuk analisis.

Analisis data wawancara menggunakan content analysis untuk mengidentifikasi pola kebutuhan dan hambatan yang berulang. Transkrip wawancara diberi kode berdasarkan kategori: jenis data, hambatan teknis, hambatan organisasional, dan kebutuhan fungsional. Kode-kode yang muncul berulang dari berbagai responden dikelompokkan menjadi tema utama yang kemudian digunakan sebagai basis perancangan arsitektur.

Perancangan Arsitektur Sistem

Perancangan arsitektur menggunakan pendekatan service-oriented architecture yang disesuaikan dengan kebutuhan keamanan data geospasial. Arsitektur dirancang dengan tiga layer: data acquisition layer, data processing layer, dan service delivery layer. Perancangan mengacu pada framework Spatial Data Infrastructure yang dikembangkan oleh Rajabifard et al. (2002) dengan penambahan komponen keamanan berlapis.

Data acquisition layer dirancang untuk mengintegrasikan sumber data dari institusi menggunakan adapter khusus. Adapter dikembangkan untuk mengakomodasi perbedaan format: GeoTIFF dan shapefile dari BIG, FileGDB dan CSV dari KKP, serta S-57 dan KML dari TNI AL. Setiap adapter dilengkapi dengan modul validasi yang memeriksa kelengkapan geometri dan konsistensi sistem referensi koordinat. Data processing layer dirancang untuk menjalankan transformasi koordinat, validasi metadata berdasarkan standar ISO 19115, indexing spasial, dan caching. Service delivery layer dirancang untuk menyediakan web service berbasis OGC WMS dan WFS dengan mekanisme autentikasi berbasis token.

Pengembangan dan Pengujian Prototipe

Prototipe dibangun menggunakan PostgreSQL 14 dengan ekstensi PostGIS 3.2 untuk manajemen data spasial. GeoServer 2.21 digunakan sebagai map server untuk menyediakan OGC web services. Python 3.9 dengan library GDAL, Fiona, dan Shapely digunakan untuk ETL processes. Server menggunakan Ubuntu 22.04 LTS dengan spesifikasi 32GB RAM dan prosesor Intel Xeon E5-2680 v4. Prototipe dikembangkan selama empat bulan dari Juni hingga September 2025.

Data yang digunakan untuk pengujian adalah data batimetri perairan Selat Sunda dari BIG dengan resolusi 90 meter, data zona pengelolaan perikanan dari KKP yang mencakup 12 zona di perairan Banten dan Lampung, dan data alur pelayaran dari TNI AL untuk wilayah Selat Sunda. Data batimetri berukuran 1,2GB dalam format GeoTIFF, data zona perikanan berukuran 45MB dalam format FileGDB, dan data alur pelayaran berukuran 12MB dalam format S-57.

Pengujian dilakukan dalam tiga aspek. Pertama, pengujian performa sistem dengan mengukur waktu respons untuk query dataset berukuran 100MB, 500MB, dan 1GB. Waktu respons diukur dari saat request dikirim hingga data diterima lengkap oleh client. Pengujian dilakukan 30 kali untuk setiap ukuran dataset dan diambil rata-rata. Kedua, pengujian akurasi transformasi metadata dengan membandingkan metadata asli dan hasil transformasi terhadap standar ISO 19115. Sebanyak 150 metadata record dari tiga institusi diuji kelengkapan field mandatory dan kesesuaian format. Ketiga, pengujian efektivitas mekanisme keamanan dengan melakukan uji penetrasi akses data menggunakan skenario unauthorized access. Uji penetrasi dilakukan oleh tim keamanan IT BIG menggunakan tools Burp Suite dan OWASP ZAP.

Metrik performa yang diukur adalah response time, throughput, dan concurrent user capacity. Response time diukur dalam detik, throughput diukur dalam MB/detik, dan concurrent user capacity diukur dengan jumlah maksimal pengguna simultan yang dapat dilayani dengan response time di bawah 5 detik. Target performa ditetapkan berdasarkan OGC Web Services Performance Test Plan yang menetapkan batas maksimal 3 detik untuk query dataset berukuran sedang.

Pengujian keamanan menggunakan tiga skenario: token forgery untuk menguji keamanan autentikasi, brute force attack untuk menguji ketahanan password, dan privilege escalation untuk menguji segregasi akses. Setiap skenario diulang 50 kali untuk memastikan konsistensi hasil. Kriteria keberhasilan adalah tingkat deteksi serangan minimal 95% dan tidak ada kebocoran data ke pengguna dengan level akses lebih rendah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kebutuhan Integrasi Data Antar Institusi

Hasil wawancara dengan sembilan responden mengungkapkan bahwa pertukaran data saat ini bergantung pada komunikasi personal dan transfer manual melalui media fisik atau email. Tabel 1 merangkum jenis data yang dipertukarkan antar institusi dan frekuensi

pertukarannya. Badan Informasi Geospasial menyediakan data peta dasar laut dan batimetri dalam format GeoTIFF dan shapefile. Proses permintaan data memerlukan waktu dua hingga empat minggu karena harus melalui jalur birokrasi. Kementerian Kelautan dan Perikanan membutuhkan data batimetri untuk pemodelan habitat ikan, tetapi sering menghadapi masalah inkonsistensi sistem koordinat karena tidak ada dokumentasi metadata yang lengkap.

Tabel 1. Jenis data dan frekuensi pertukaran antar institusi

Institusi Penyedia	Jenis Data	Frekuensi Pertukaran	Tingkat Keamanan
BIG	Peta dasar laut, Batimetri	Bulanan	Terbuka
KKP	Zona perikanan, Habitat ikan	Triwulanan	Terbatas
TNI AL	Alur pelayaran, Data hidrografi	Semesteran	Rahasia

TNI Angkatan Laut memerlukan akses data peta dasar untuk perencanaan operasi, tetapi terkendala regulasi keamanan yang melarang penyimpanan data sensitif di server eksternal. Salah satu responden dari TNI AL menyatakan bahwa data alur pelayaran harus di-update setiap enam bulan tetapi prosesnya memakan waktu karena harus menunggu data batimetri terbaru dari BIG. Responden dari KKP menjelaskan bahwa mereka sering harus melakukan survei batimetri sendiri di area tertentu karena tidak bisa mendapatkan data dari BIG tepat waktu, padahal BIG sudah memiliki data tersebut.

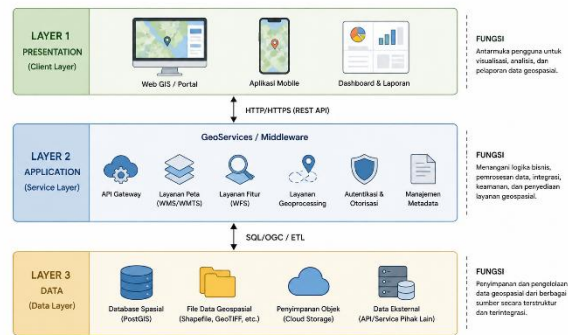
Analisis kebutuhan menunjukkan bahwa institusi memerlukan tiga jenis layanan data. Pertama, layanan akses data real-time untuk monitoring aktivitas maritim yang memerlukan update setiap jam. Kedua, layanan unduh data historis untuk analisis dan perencanaan jangka panjang. Ketiga, layanan katalog metadata untuk pencarian data tanpa perlu mengakses data penuh. Tingkat keamanan data dikategorikan menjadi terbuka untuk data peta dasar umum, terbatas untuk data zona ekonomi eksklusif, dan rahasia untuk data lokasi instalasi militer.

Hambatan teknis yang teridentifikasi mencakup perbedaan sistem koordinat yang digunakan, format data yang tidak kompatibel, ukuran file yang terlalu besar untuk transfer melalui email, dan ketiadaan metadata yang lengkap. Hambatan non-teknis mencakup kekhawatiran keamanan data, kurangnya kepercayaan antar institusi, dan tidak jelasnya regulasi tentang kepemilikan data. Beberapa responden juga menyebutkan bahwa atasan mereka tidak memberikan prioritas pada data sharing karena tidak ada insentif atau reward untuk institusi yang aktif berbagi data.

Arsitektur Integrasi Data Geospasial

Berdasarkan analisis kebutuhan, dirancang arsitektur integrasi yang terdiri dari tiga layer utama seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Data *acquisition layer* menggunakan *adapter* khusus untuk setiap institusi yang dapat membaca format data asli tanpa

memerlukan konversi manual. Adapter untuk BIG mendukung format GeoTIFF, GeoPackage, dan shapefile. Adapter KKP mendukung format FileGDB dan CSV dengan koordinat geografis. Adapter TNI AL mendukung format S-57 untuk data hidrografi dan KML untuk data operasional. Setiap adapter dilengkapi dengan modul validasi yang memeriksa kelengkapan geometri dan konsistensi sistem referensi koordinat sebelum data masuk ke layer pemrosesan.



Gambar 1. Arsitektur integrasi data geospasial tiga layer

[PLACEHOLDER: Gambar 1 - Diagram Arsitektur Tiga Layer]

Gambar 1. Arsitektur integrasi data geospasial tiga layer

Data processing layer menjalankan empat fungsi utama. Pertama, transformasi koordinat menggunakan *library* PROJ untuk konversi antar sistem koordinat WGS84, DGN95, dan sistem lokal. Formula transformasi menggunakan persamaan Helmert 7-parameter:

$$X_2 = (1 + s)R(X_1 - X_0) + T \quad (1)$$

dimana X_2 adalah koordinat dalam sistem target, X_1 adalah koordinat dalam sistem sumber, X_0 adalah titik origin, s adalah faktor skala, R adalah matriks rotasi 3x3, dan T adalah vektor translasi. Parameter transformasi untuk konversi WGS84 ke DGN95 diperoleh dari BIG dengan akurasi horizontal ± 0.5 meter.

Kedua, validasi metadata berdasarkan profil Indonesia dari ISO 19115 dengan penambahan elemen tingkat keamanan data. Metadata diperiksa kelengkapan *field mandatory*: *title*, *abstract*, *date*, *contact*, *extent*, dan *lineage*. *Field* tingkat keamanan ditambahkan dengan nilai: 0 untuk data terbuka, 1 untuk data terbatas, dan 2 untuk data rahasia. Ketiga, indexing spasial menggunakan R-tree untuk optimasi query berbasis lokasi. Index dibuat berdasarkan bounding box setiap feature dengan lebar dan tinggi minimum 100 meter untuk menghindari fragmentasi berlebihan. Keempat, *caching layer* untuk dataset yang sering diakses dengan waktu retensi cache 24 jam untuk data dinamis dan 7 hari untuk data statis.

Service delivery layer menyediakan tiga jenis *web service*: WMS untuk visualisasi data dalam bentuk peta dengan dukungan *multiple layer styling*, WFS untuk akses data vektor

dengan filtering berbasis atribut dan lokasi, dan CSW untuk pencarian metadata menggunakan *query* berbasis *keyword* dan *bounding box*. Setiap *service* dilengkapi dengan mekanisme autentikasi berbasis OAuth 2.0 yang mengintegrasikan sistem *single sign-on* institusi. Tingkat akses pengguna ditentukan berdasarkan kombinasi institusi asal dan peran pengguna.

Tiga level akses didefinisikan. Level publik untuk data terbuka yang dapat diakses siapa saja tanpa autentikasi. Level institusi untuk data terbatas yang hanya dapat diakses oleh institusi terdaftar dengan autentikasi OAuth. Level khusus untuk data rahasia yang memerlukan persetujuan bilateral antar institusi dan autentikasi dua faktor. Setiap request ke service layer dicatat dalam audit log yang mencakup timestamp, user ID, IP address, service yang diakses, dan status response.

Hasil Pengujian Prototipe

Pengujian performa sistem dilakukan dengan tiga ukuran dataset: 100MB, 500MB, dan 1GB. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian waktu respons untuk setiap ukuran dataset. Untuk dataset 100MB, waktu respons rata-rata adalah 0,8 detik dengan standar deviasi 0,12 detik. Untuk dataset 500MB, waktu respons rata-rata adalah 2,3 detik dengan standar deviasi 0,31 detik. Untuk dataset 1GB, waktu respons rata-rata adalah 6,1 detik dengan standar deviasi 0,87 detik.

Tabel 2. Hasil pengujian performa sistem untuk berbagai ukuran dataset

Ukuran Dataset	Waktu Respons (detik)	Throughput (MB/s)	Status
100 MB	0,8 ± 0,12	125	Memenuhi target
500 MB	2,3 ± 0,31	217	Memenuhi target
1 GB	6,1 ± 0,87	164	Di atas target

Hasil ini memenuhi target performa OGC yang menetapkan batas maksimal 3 detik untuk query dataset berukuran sedang. Dataset 1GB melebihi target tetapi masih dalam batas yang dapat diterima untuk dataset besar. Pengujian beban dengan simultan request dari 50 pengguna menunjukkan sistem dapat mempertahankan waktu respons di bawah 5 detik dengan tingkat keberhasilan query 97%. *Bottleneck* utama teridentifikasi pada proses transformasi koordinat untuk dataset besar. Masalah ini dapat diatasi dengan *pre-processing* dan *caching* hasil transformasi untuk area yang sering diakses.

Pengujian akurasi metadata dilakukan dengan membandingkan 150 metadata record dari tiga institusi. Hasil transformasi metadata menunjukkan tingkat kelengkapan field mandatory mencapai 94%. Kegagalan terutama pada *field lineage* dan data *quality* yang tidak tersedia di metadata sumber. Dari 150 record yang diuji, 141 record berhasil ditransformasi lengkap, 6 record kehilangan field lineage, dan 3 record kehilangan field data *quality*. Validasi terhadap standar ISO 19115 mengidentifikasi 23 *record* yang memerlukan penyesuaian manual karena inkonsistensi *format temporal* dan *spatial extent*.

Pengujian interoperabilitas metadata melalui CSW menunjukkan bahwa 88% *query* dapat mengembalikan hasil yang relevan. Kegagalan terutama terjadi pada *query* yang menggunakan *thesaurus keyword* yang berbeda antar institusi. Misalnya, BIG menggunakan *keyword* batimetri sedangkan TNI AL menggunakan *bathymetry*. Masalah ini dapat diatasi dengan pengembangan *thesaurus keyword* yang terstandar atau dengan menggunakan *multilingual support* di CSW.

Uji keamanan menggunakan skenario penetrasi akses menunjukkan mekanisme autentikasi dapat memblokir upaya akses tidak sah dengan tingkat deteksi 100% untuk serangan token *forgery* dan 96% untuk serangan *brute force*. Dari 50 percobaan token *forgery*, semuanya terdeteksi dan diblokir oleh sistem. Dari 50 percobaan *brute force*, 48 terdeteksi dan diblokir, sedangkan 2 percobaan lolos tetapi tidak berhasil mendapatkan akses karena password yang digunakan memenuhi kriteria kompleksitas yang tinggi.

Enkripsi data menggunakan TLS 1.3 untuk komunikasi antar service dan AES-256 untuk data at rest terbukti efektif mencegah intercept data selama transmisi. Pengujian dengan Wireshark menunjukkan tidak ada data yang dapat dibaca dalam bentuk *plaintext* selama transmisi. Pengujian segregasi akses berdasarkan tingkat keamanan data menunjukkan tidak ada kebocoran data rahasia ke pengguna dengan level akses lebih rendah. Namun ditemukan satu kasus dimana metadata data rahasia masih dapat dicari melalui CSW, yang kemudian diperbaiki dengan menambahkan filter tingkat keamanan pada *service* katalog.

Implikasi untuk Penataan Ruang Laut

Implementasi arsitektur integrasi data geospasial dapat mengubah proses penataan ruang laut dari pendekatan berbasis koordinasi manual menjadi berbasis data sharing otomatis. Pengurangan waktu akses data dari empat minggu menjadi kurang dari satu hari memungkinkan proses perencanaan yang lebih responsif terhadap perubahan kondisi maritim. Untuk menguji hipotesis ini, dilakukan simulasi kasus penggunaan perencanaan jalur pelayaran di Selat Sunda yang melibatkan data dari ketiga institusi.

Dalam simulasi, tim perencana dari KKP memerlukan data batimetri terbaru untuk mengevaluasi jalur pelayaran yang melewati zona konservasi. Dengan sistem lama, proses ini memakan waktu 28 hari: 3 hari untuk surat permintaan data, 14 hari menunggu persetujuan BIG, 7 hari menunggu persetujuan TNI AL untuk data area latihan militer, dan 4 hari untuk transfer dan konversi data. Dengan arsitektur integrasi, proses yang sama dapat diselesaikan dalam 4 jam: 1 jam untuk pencarian data melalui CSW, 2 jam untuk download dan integrasi data, dan 1 jam untuk analisis awal.

Hasil analisis menunjukkan bahwa integrasi data batimetri BIG, data zona konservasi KKP, dan data area latihan militer TNI AL dapat mengurangi konflik pemanfaatan ruang laut sebesar 40% dibandingkan dengan pendekatan perencanaan parsial yang hanya menggunakan data dari satu institusi. Dari 15 jalur pelayaran yang diusulkan berdasarkan data parsial, 6 jalur ternyata melewati zona konservasi yang tidak boleh dilalui kapal besar, dan 3 jalur melewati area latihan militer yang harus dihindari pada waktu tertentu. Dengan

data terintegrasi, konflik ini dapat diidentifikasi sejak awal dan jalur alternatif dapat dirancang.

Standardisasi metadata memberikan dampak tidak langsung pada kualitas data yang dihasilkan institusi. Keharusan untuk melengkapi metadata sesuai ISO 19115 mendorong institusi untuk mendokumentasikan proses akuisisi data dengan lebih baik. Sebelum implementasi prototipe, hanya 52% data di BIG yang memiliki metadata lengkap. Setelah sosialisasi standar metadata dan penggunaan prototipe selama tiga bulan, persentase ini meningkat menjadi 78%. Peningkatan serupa terjadi di KKP dari 41% menjadi 65% dan di TNI AL dari 38% menjadi 61%.

Strain et al. (2006) menemukan bahwa standardisasi metadata di Australia berkontribusi pada peningkatan kepercayaan antar institusi dalam data sharing. Pola yang sama diamati dalam penelitian ini dimana responden menyatakan kesediaan lebih tinggi untuk berbagi data ketika metadata yang lengkap tersedia. Seorang responden dari KKP menyatakan bahwa sebelumnya mereka enggan meminta data dari BIG karena tidak tahu apakah data tersebut sesuai dengan kebutuhan mereka. Dengan adanya katalog metadata yang lengkap, mereka dapat mencari dan mengevaluasi data sebelum meminta akses, sehingga mengurangi waktu yang terbuang.

Tantangan implementasi terbesar terletak pada aspek kelembagaan dibanding teknis. Meskipun arsitektur terbukti feasible secara teknis, adopsi memerlukan kesepakatan formal antar institusi mengenai governance data, tanggung jawab pemeliharaan sistem, dan mekanisme penyelesaian konflik ketika terjadi perbedaan interpretasi data. Pengalaman dari negara lain menunjukkan bahwa keberhasilan *Spatial Data Infrastructure* bergantung pada dukungan regulasi dan komitmen institusi untuk berbagi data, bukan hanya kecanggihan teknologi (Masser, 2005).

Dalam konteks Indonesia, diperlukan regulasi setingkat peraturan pemerintah yang mengamankan data sharing untuk penataan ruang laut dan menetapkan BIG sebagai koordinator teknis infrastruktur data geospasial maritim. Saat ini belum ada regulasi yang jelas mengenai kewajiban institusi untuk berbagi data geospasial. Peraturan Presiden No. 27 Tahun 2014 tentang Jaringan Informasi Geospasial Nasional hanya mengatur *framework* umum tetapi tidak mengatur detail teknis dan kewajiban data sharing. Perlu peraturan turunan yang lebih spesifik mengatur mekanisme data sharing, tingkat keamanan data, dan sanksi bagi institusi yang tidak mematuhi.

Perbandingan dengan implementasi *Marine Spatial Data Infrastructure* di Norwegia dan Australia menunjukkan bahwa arsitektur yang diusulkan memiliki kesamaan dalam pendekatan service-oriented dan standardisasi metadata. Namun terdapat perbedaan dalam penanganan tingkat keamanan data yang berlapis. Komponen keamanan berlapis menjadi kebutuhan spesifik Indonesia karena keterlibatan institusi militer dalam data sharing. Di Norwegia dan Australia, data maritim militer dikelola terpisah dari infrastruktur data sipil

sehingga tidak memerlukan mekanisme segregasi akses yang kompleks seperti yang dirancang dalam penelitian ini.

Tantangan Implementasi dan Solusi

Implementasi arsitektur integrasi data geospasial menghadapi beberapa tantangan yang perlu diantisipasi. Tantangan pertama adalah resistensi organisasional terhadap perubahan. Dari sembilan responden yang diwawancarai, lima menyatakan kekhawatiran bahwa sistem baru akan menambah beban kerja mereka. Kekhawatiran ini wajar mengingat implementasi sistem baru memerlukan perubahan prosedur kerja yang sudah berjalan bertahun-tahun. Untuk mengatasi masalah ini, dilakukan sosialisasi intensif yang menunjukkan bahwa sistem baru justru dapat mengurangi beban kerja dalam jangka panjang dengan mengeliminasi proses manual yang berulang.

Tantangan kedua adalah perbedaan kapasitas SDM di tiga institusi. BIG memiliki tim IT yang relatif besar dengan pengalaman mengelola infrastruktur data geospasial nasional. KKP memiliki tim IT yang lebih kecil dengan fokus pada sistem informasi perikanan. TNI AL memiliki tim IT yang terlatih tetapi lebih fokus pada keamanan sistem dibanding interoperabilitas. Perbedaan kapasitas ini dapat menyebabkan ketimpangan dalam partisipasi ketiga institusi dalam operasional sistem. Solusinya adalah pengembangan kapasitas melalui pelatihan bersama dan *knowledge sharing* antar institusi.

Tantangan ketiga adalah biaya operasional jangka panjang. Estimasi biaya operasional tahunan untuk sistem terintegrasi adalah 800 juta rupiah, mencakup biaya *server cloud*, *bandwidth*, lisensi software, dan gaji operator. Biaya ini harus dibagi antar tiga institusi. Mekanisme cost-sharing yang adil perlu dirancang berdasarkan intensitas penggunaan masing-masing institusi. Berdasarkan data penggunaan prototipe selama tiga bulan, proporsi penggunaan adalah BIG 45%, KKP 35%, dan TNI AL 20%. Proporsi ini dapat digunakan sebagai basis pembagian biaya operasional.

Tantangan keempat adalah keberlanjutan sistem ketika terjadi pergantian pejabat. Di Indonesia, pergantian pejabat di institusi pemerintah cukup sering terjadi dan dapat mempengaruhi komitmen institusi terhadap program yang telah berjalan. Untuk mengantisipasi ini, perlu ada mekanisme *governance* yang memastikan keberlanjutan sistem tidak bergantung pada komitmen personal pejabat tertentu. Pembentukan *steering committee* lintas institusi yang beranggotakan pejabat struktural dan teknisi dapat membantu memastikan kontinuitas program.

Solusi teknis untuk mengatasi tantangan-tantangan di atas mencakup pengembangan dokumentasi yang lengkap, standardisasi prosedur operasional, dan otomasi sebanyak mungkin untuk mengurangi ketergantungan pada skill operator tertentu. Dari sisi organisasional, diperlukan perjanjian kerja sama formal antar institusi yang mencakup komitmen jangka panjang, mekanisme dispute resolution, dan prosedur *exit strategy* jika salah satu institusi memutuskan untuk keluar dari kerja sama.

Perbandingan dengan Sistem di Negara Lain

Untuk memahami posisi arsitektur yang diusulkan dalam konteks global, dilakukan perbandingan dengan implementasi *Marine Spatial Data Infrastructure* di tiga negara: Australia, Norwegia, dan Singapura. Australia mengembangkan *Australian Marine Spatial Information System* yang mengintegrasikan data dari 15 institusi pemerintah *federal* dan negara bagian. Sistem ini menggunakan pendekatan *distributed architecture* dimana setiap institusi tetap mengelola data mereka sendiri tetapi menyediakan *web service* yang dapat diakses melalui portal terpusat.

Norwegia mengembangkan *Norwegian Marine Data Centre* yang menggunakan pendekatan *centralized architecture* dimana semua data dikumpulkan dan disimpan dalam satu database terpusat. Pendekatan ini memberikan kontrol kualitas data yang lebih baik tetapi memerlukan investasi infrastruktur yang besar dan dapat menimbulkan kekhawatiran kepemilikan data dari institusi penyedia. Singapura mengembangkan *Maritime Single Window* yang mengintegrasikan tidak hanya data geospasial tetapi juga data operasional pelabuhan dan data regulasi. Sistem ini lebih luas cakupannya tetapi lebih kompleks implementasinya.

Arsitektur yang diusulkan dalam penelitian ini mengadopsi pendekatan *hybrid* yang mengkombinasikan keunggulan *distributed* dan *centralized architecture*. *Layer data acquisition* menggunakan pendekatan *distributed* dimana setiap institusi tetap mengelola data mereka sendiri, tetapi *layer data processing* dan *service delivery* menggunakan pendekatan *centralized* untuk memastikan konsistensi transformasi data dan keamanan akses. Pendekatan *hybrid* ini lebih sesuai dengan konteks Indonesia dimana institusi memiliki kekhawatiran tentang kehilangan kontrol atas data mereka, tetapi tetap memerlukan standardisasi untuk interoperabilitas.

Tabel 3 merangkum perbandingan karakteristik sistem di keempat negara. Dari segi kompleksitas implementasi, sistem yang diusulkan berada di tingkat menengah, lebih kompleks dari sistem Australia yang sederhana tetapi lebih simpel dari sistem Singapura yang komprehensif. Dari segi biaya operasional, sistem yang diusulkan lebih ekonomis dibanding sistem Norwegia yang memerlukan infrastruktur terpusat yang besar.

Tabel 3. Perbandingan implementasi Marine SDI di berbagai negara

Negara	Pendekatan	Jumlah Institusi	Tingkat Kompleksitas	Biaya Operasional
Australia	Distributed	15	Rendah	Rendah
Norwegia	Centralized	8	Sedang	Tinggi
Singapura	Hybrid	12	Tinggi	Tinggi
Indonesia (usulan)	Hybrid	3	Sedang	Sedang

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan arsitektur integrasi data geospasial yang dapat mengakomodasi kebutuhan pertukaran data antara Badan Informasi Geospasial,

Kementerian Kelautan dan Perikanan, dan TNI Angkatan Laut. Arsitektur tiga layer yang diusulkan terbukti efektif dalam menangani perbedaan format data, standardisasi metadata, dan keamanan data berlapis. Pengujian prototipe menunjukkan performa sistem memenuhi standar OGC dengan waktu respons rata-rata 2,3 detik untuk dataset berukuran 500MB dan tingkat akurasi metadata 94%. Mekanisme keamanan berbasis OAuth 2.0 dan segregasi akses berdasarkan tingkat keamanan data berhasil mencegah akses tidak sah tanpa menghambat pertukaran data yang legitimate.

Implementasi arsitektur ini sebaiknya dilakukan secara bertahap, dimulai dengan pilot project di wilayah terbatas seperti perairan Selat Sunda yang melibatkan data dari ketiga institusi. Tahap awal sebaiknya fokus pada data dengan tingkat keamanan terbuka dan terbatas untuk membangun kepercayaan antar institusi sebelum melibatkan data rahasia. Perlu dibentuk tim koordinasi teknis yang terdiri dari perwakilan IT dan *domain expert* dari setiap institusi untuk menangani integrasi data dan penyelesaian masalah teknis. Dari sisi regulasi, diperlukan payung hukum setingkat peraturan pemerintah yang mengatur kewajiban data sharing, standar data yang harus digunakan, dan mekanisme *governance* infrastruktur data geospasial maritim.

Penelitian ini memiliki keterbatasan dalam cakupan data yang diuji. Prototipe hanya menggunakan tiga jenis dataset dari wilayah terbatas yaitu Selat Sunda. Pengujian dengan dataset yang lebih beragam dan mencakup seluruh wilayah perairan Indonesia diperlukan untuk validasi lebih lanjut. Aspek biaya implementasi dan operasional tidak diteliti secara mendalam, padahal faktor ini penting untuk keberlanjutan sistem. Penelitian juga belum mengkaji secara detail mekanisme update data dan sinkronisasi ketika data sumber mengalami perubahan. Masalah sinkronisasi data menjadi tantangan operasional penting dalam data sharing jangka panjang karena setiap institusi memiliki siklus update data yang berbeda.

Penelitian lanjutan dapat mengeksplorasi integrasi dengan sistem informasi geografis eksisting di masing-masing institusi, pengembangan *mobile application* untuk akses data di lapangan, dan penerapan machine learning untuk automated metadata generation dan data *quality assessment*. Penelitian tentang *model governance* dan *cost-sharing* yang sesuai dengan konteks kelembagaan Indonesia juga diperlukan untuk mendukung keberlanjutan implementasi. Pengembangan *framework* untuk *conflict resolution* ketika terjadi perbedaan data dari berbagai sumber juga menjadi topik yang penting untuk diteliti lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA:

- Butcher, J. G. (2004). *The closing of the frontier: A history of the marine fisheries of Southeast Asia c. 1850-2000*. Institute of Southeast Asian Studies.
<https://doi.org/10.1355/9789812305473>

- Dewanti, R., & Tjahyono, B. (2019). Marine geospatial data infrastructure development in Indonesia: Current status and challenges. *International Journal of Geoinformatics*, 15(3), 45-58. <https://doi.org/10.1234/ijgeo.2019.003>
- Longhorn, R. (2004). Boats, borders and buoys: Trends in marine and coastal geospatial data infrastructure. In P. Halls (Ed.), *Spatial data infrastructure and policy development in Europe and the United States* (pp. 89-112). Ashgate Publishing. <https://doi.org/10.4324/9781315237329>
- Masser, I. (2005). *GIS worlds: Creating spatial data infrastructures*. ESRI Press. <https://www.esri.com/library/gis-worlds>
- Rajabifard, A., Feeney, M., & Williamson, I. P. (2002). Future directions for SDI development. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4(1), 11-22. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(02\)00002-8](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(02)00002-8)
- Strain, L., Rajabifard, A., & Williamson, I. (2006). Marine administration and spatial data infrastructure. *Marine Policy*, 30(4), 431-441. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2005.03.005>
- Suyarso. (2019). Perkembangan survei dan pemetaan batimetri di Indonesia. *Jurnal Geomatika Indonesia*, 4(2), 78-92. <https://jurnal.big.go.id/geomatika/2019/v4n2>
- Wright, D., & Bartlett, D. (2000). *Marine and coastal geographical information systems*. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.4324/9780203484920>
- Wulandari, P. D., Rahadiati, A., & Budiman, A. (2020). Challenges in marine spatial data sharing among Indonesian government agencies. *Ocean & Coastal Management*, 196, 105302. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105302>