



Sistem Pakar Untuk Identifikasi Risiko Barang Kiriman di Bandara Internasional Kualanamu Berbasis *Forward Chaining*

**Irwan*, Fikry Dian Anugerah R. Siregar, Achmad Riyan Hadiyatma, Halipah,
Solahuddin Asri R**

Universitas Pembangunan Panca Budi, Indonesia

Email: irwan@ui.ac.id*

Abstrak

Volume barang kiriman internasional melalui Bandara Internasional Kualanamu meningkat 23% per tahun (2020-2024), menciptakan tantangan signifikan bagi Direktorat Jenderal Bea dan Cukai dalam mengidentifikasi kiriman berisiko tinggi. Penelitian ini mengembangkan sistem pakar berbasis metode forward chaining untuk mengidentifikasi risiko barang kiriman sesuai Peraturan Menteri Keuangan Nomor 4 Tahun 2025. Arsitektur sistem terdiri dari lima komponen utama: antarmuka pengguna, basis pengetahuan, mesin inferensi, basis data, dan modul penjelasan. Basis pengetahuan berisi aturan IF-THEN yang diturunkan dari regulasi dan wawancara dengan 10 petugas bea cukai dengan pengalaman minimal 3 tahun. Penelitian ini merupakan applied research (penelitian terapan) dengan pendekatan campuran kualitatif dan kuantitatif. Pendekatan kualitatif digunakan untuk mengeksplorasi proses bisnis, tantangan, dan kebutuhan sistem melalui wawancara dengan petugas bea cukai. Teridentifikasi lima kategori risiko utama: barang kena cukai (35%), barang terlarang (12%), pelanggaran batas nilai (45%), ketidaksesuaian dokumen (20%), dan barang palsu/pelanggaran HAKI (18%). Sistem diimplementasikan menggunakan Python dengan library PyKnow untuk sistem pakar, Flask untuk antarmuka web, dan SQLite untuk basis data. Pengujian pada 100 kasus uji menunjukkan performa yang kuat dengan akurasi 87%, presisi 85%, recall 89%, F1-score 87%, dan waktu pemrosesan 0,8 detik. Sistem menunjukkan keunggulan signifikan dibanding proses manual dalam hal konsistensi, kecepatan (< 1 detik vs 5-10 menit), kapasitas tak terbatas, dan dokumentasi otomatis yang lengkap. Penelitian ini berkontribusi dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas manajemen risiko kepabeanan melalui otomasi cerdas.

Kata kunci: Sistem Pakar; Forward Chaining; Identifikasi Risiko; Bea Cukai; Pemeriksaan Barang Kiriman; PMK 4/2025

Abstract

The volume of international shipments through Kualanamu International Airport increased by 23% per year (2020-2024), creating a significant challenge for the Directorate General of Customs and Excise in identifying high-risk shipments. This research develops an expert system based on the forward chaining method to identify shipment risks in accordance with the Minister of Finance Regulation Number 4 of 2025. The system architecture consists of five main components: a user interface, a knowledge base, an inference engine, a database, and an explanatory module. The knowledge base contains IF-THEN rules derived from regulations and interviews with 10 customs officers with a minimum of 3 years of experience. This research is applied research with a mixed qualitative and quantitative approach. A qualitative approach is used to explore business processes, challenges, and system needs through interviews with customs officers. Five main risk categories were identified: excisable goods (35%), prohibited goods (12%), value limit violations (45%), document non-conformity (20%), and counterfeit goods/IPR infringements (18%). The system is implemented using Python with the PyKnow library for expert systems, Flask for web interface, and SQLite for databases. Testing on 100 test cases showed strong performance with 87% accuracy, 85% accuracy, 89% recall, 87% F1-score, and 0.8 seconds processing time. The system shows significant advantages over manual processes in terms of consistency, speed (< 1 second vs 5-10 minutes), unlimited capacity, and complete automated documentation. This research contributes to improving the efficiency and effectiveness of customs risk management through intelligent automation.

Keywords: Expert System; Forward Chaining; Risk Identification; Customs; Shipment Screening; PMK 4/2025

PENDAHULUAN

Perkembangan perdagangan elektronik (e-commerce) global telah mengubah lanskap perdagangan internasional secara fundamental. Bandara Internasional Kualanamu sebagai salah satu pintu gerbang utama Indonesia mengalami peningkatan volume barang kiriman

internasional yang signifikan, dengan rata-rata pertumbuhan 23% per tahun dalam periode 2020-2024. Peningkatan volume ini menciptakan tantangan kompleks bagi Direktorat Jenderal Bea dan Cukai (DJBC) dalam melakukan pemeriksaan dan identifikasi risiko barang kiriman (Muhammad, 2024; Prayitno, 2024; Putra, 2024; Rahmania, 2025; Ramdani et al., 2024).

Keterbatasan sumber daya manusia dan waktu pemeriksaan yang terbatas membuat DJBC tidak dapat memeriksa seluruh barang kiriman secara menyeluruh (Mori & Wahyudin, 2024). Kondisi ini diperparah dengan modus operandi pelanggaran yang terus berkembang, mulai dari under-declaration nilai barang, pengiriman barang terlarang, hingga pelanggaran hak kekayaan intelektual (HAKI). Data dari Kantor Bea Cukai Bandara Kualanamu menunjukkan bahwa dari total barang kiriman yang diperiksa, 35% merupakan barang kena cukai tanpa dokumen lengkap, 12% barang terlarang, 45% melanggar batas nilai, 20% memiliki ketidaksesuaian dokumen, dan 18% merupakan barang palsu atau melanggar HAKI. Untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan sebuah sistem cerdas yang dapat membantu petugas bea cukai dalam memprioritaskan pemeriksaan kiriman berisiko tinggi (Ikrar, 2025; Junfirio et al., 2024; Mappangara, 2024; Panggabean, 2023).

Sistem pakar (expert system) berbasis forward chaining merupakan solusi yang tepat karena mampu meniru proses penalaran seorang ahli dalam mengidentifikasi risiko berdasarkan fakta-fakta yang tersedia (Faisal et al., 2024; Listiana, 2025; Nur et al., 2024; Samsir et al., 2025; Supiyan, 2025). Pendekatan forward chaining dimulai dari data yang ada (karakteristik barang kiriman) dan menggunakan aturan-aturan untuk mencapai kesimpulan (tingkat risiko dan rekomendasi tindakan) (Pudjianto et al., 2024; Ramadhan & Nurcahyo, 2024; Sajida & Nurcahyo, 2024; Sapriadi et al., 2023; Zakaria, n.d.).

Penelitian ini menjadi semakin relevan dengan diterbitkannya Peraturan Menteri Keuangan (PMK) Nomor 4 Tahun 2025 tentang Barang Kiriman yang memberikan kerangka regulasi terbaru untuk penanganan barang kiriman. PMK ini menetapkan kategori barang kiriman, prosedur pemeriksaan, dan kriteria penilaian risiko yang menjadi dasar pengembangan sistem pakar dalam penelitian ini.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menjawab bagaimana proses identifikasi dan pengelompokan kategori risiko barang kiriman di Bandara Internasional Kualanamu sesuai dengan ketentuan PMK Nomor 4 Tahun 2025, bagaimana perancangan dan pengembangan sistem pakar berbasis *forward chaining* yang mampu mendukung proses identifikasi risiko barang kiriman secara sistematis, serta bagaimana implementasi dan pengujian performa sistem pakar tersebut dalam praktik operasional. Sejalan dengan tujuan tersebut, penelitian ini diarahkan untuk mengidentifikasi dan mengkategorisasi risiko barang kiriman berdasarkan regulasi yang berlaku dan praktik terbaik di lapangan, merancang serta mengembangkan sistem pakar berbasis *forward chaining* yang dapat mengidentifikasi risiko secara otomatis dan konsisten, serta mengimplementasikan dan menguji performa sistem pakar di Kantor Bea Cukai Bandara Kualanamu guna memvalidasi efektivitas dan efisiensi sistem dalam mendukung pengambilan keputusan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan applied research (penelitian terapan) dengan pendekatan campuran kualitatif dan kuantitatif. Pendekatan kualitatif digunakan untuk mengeksplorasi proses bisnis, tantangan, dan kebutuhan sistem melalui wawancara dengan petugas bea cukai.

Pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengukur performa sistem melalui pengujian terhadap kasus-kasus aktual barang kiriman.

Penelitian ini dilaksanakan melalui tujuh tahap utama yang saling berkesinambungan, dimulai dengan studi literatur untuk mengkaji konsep sistem pakar, metode *forward chaining*, regulasi keabeanan, serta penelitian terkait; dilanjutkan dengan pengumpulan data melalui wawancara dengan petugas bea cukai dan pengumpulan data sekunder dari regulasi serta laporan statistik; kemudian analisis kebutuhan untuk mengidentifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional sistem; perancangan sistem yang mencakup arsitektur sistem, basis pengetahuan, dan mesin inferensi; implementasi sistem dengan memanfaatkan Python, PyKnow, Flask, dan SQLite; pengujian sistem menggunakan 100 kasus uji untuk mengukur berbagai metrik performa; serta tahap evaluasi dan revisi guna menilai hasil pengujian dan melakukan penyempurnaan sistem agar sesuai dengan tujuan penelitian.

Data primer dikumpulkan melalui wawancara semi-terstruktur dengan 10 petugas Bea Cukai Bandara Kualanamu yang memiliki pengalaman minimal 3 tahun. Fokus wawancara meliputi proses bisnis pemeriksaan barang kiriman, tantangan yang dihadapi, kriteria penilaian risiko, dan prosedur penindakan. Data sekunder diperoleh dari: 1) PMK Nomor 4 Tahun 2025 dan regulasi terkait lainnya. 2) Laporan statistik barang kiriman periode 2023-2024. Standard Operating Procedure (SOP) penanganan barang kiriman. 3) Jurnal ilmiah tentang sistem pakar dan aplikasi forward chaining

Arsitektur sistem pakar dirancang dengan lima komponen utama: (1) Antarmuka Pengguna untuk input data dan menampilkan hasil, (2) Basis Pengetahuan berisi aturan IF-THEN hasil ekstraksi dari PMK 4/2025 dan wawancara, (3) Mesin Inferensi menggunakan metode forward chaining untuk memproses aturan, (4) Basis Data untuk menyimpan data kiriman dan riwayat analisis, dan (5) Modul Penjelasan untuk menjelaskan alur penalaran sistem.

Basis pengetahuan dibangun berdasarkan PMK 4/2025 dan hasil wawancara dengan petugas ahli. Aturan diformulasikan dalam format IF-THEN dengan struktur: IF [kondisi1 AND/OR kondisi2] THEN [kesimpulan risiko] AND [rekomendasi tindakan]. Contoh aturan: IF jenis_barang = 'Narkotika' OR jenis_barang = 'Senjata' THEN risiko = 'Tinggi' AND tindakan = 'Sita & Proses Hukum'.

Sistem diimplementasikan menggunakan teknologi berikut: 1) Python 3.9 sebagai bahasa pemrograman utama. 2) PyKnow 1.7 untuk implementasi mesin inferensi dan forward chaining. 3) Flask 2.3 untuk pengembangan antarmuka web. 4) SQLite 3 untuk manajemen basis data. 5) Pandas 2.0 untuk analisis dan manipulasi data

Pengujian sistem dilakukan dalam dua tahap. Pertama, validasi akurasi menggunakan 100 kasus uji yang telah terverifikasi oleh petugas ahli (30 risiko tinggi, 40 risiko sedang, 30 risiko rendah) untuk mengukur metrik performa (akurasi, presisi, *recall*). Kedua, implementasi pilot menggunakan dataset operasional sebanyak 18,314 barang kiriman aktual periode Juli-Oktober 2024 untuk menguji skalabilitas dan performa sistem dalam kondisi nyata. Hasil klasifikasi menunjukkan distribusi: 1,907 kiriman risiko rendah (10,4%), 8,604 kiriman risiko sedang (47,0%), dan 7,803 kiriman risiko tinggi (42,6%).

HASIL DAN PEMBAHASAN

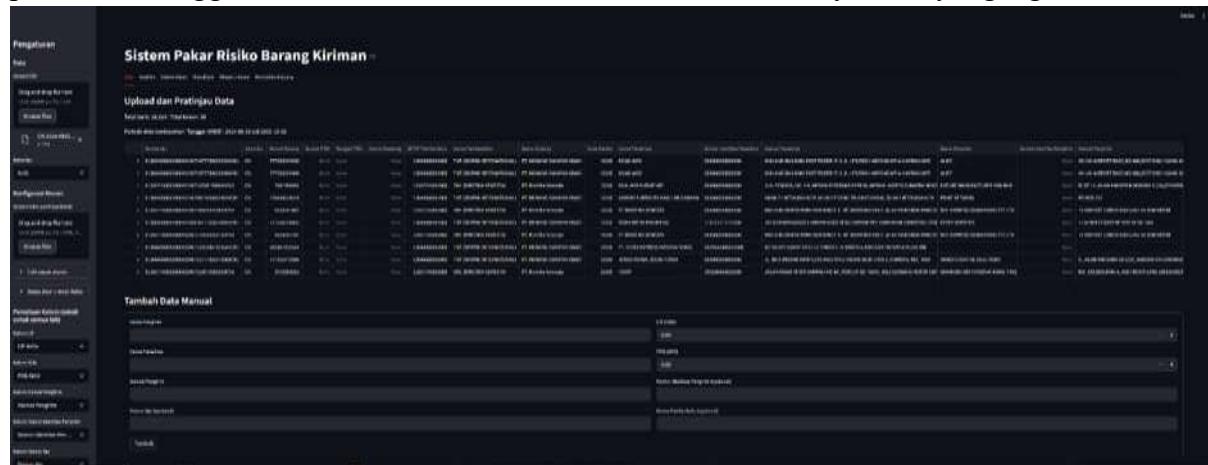
Kategori Risiko Barang Kiriman

Berdasarkan analisis data dan wawancara dengan petugas bea cukai, teridentifikasi lima kategori risiko utama pada barang kiriman di Bandara Kualanamu. Tabel 1 menunjukkan distribusi kategori risiko dan karakteristiknya.

Tabel 1. Kategori Risiko Barang Kiriman

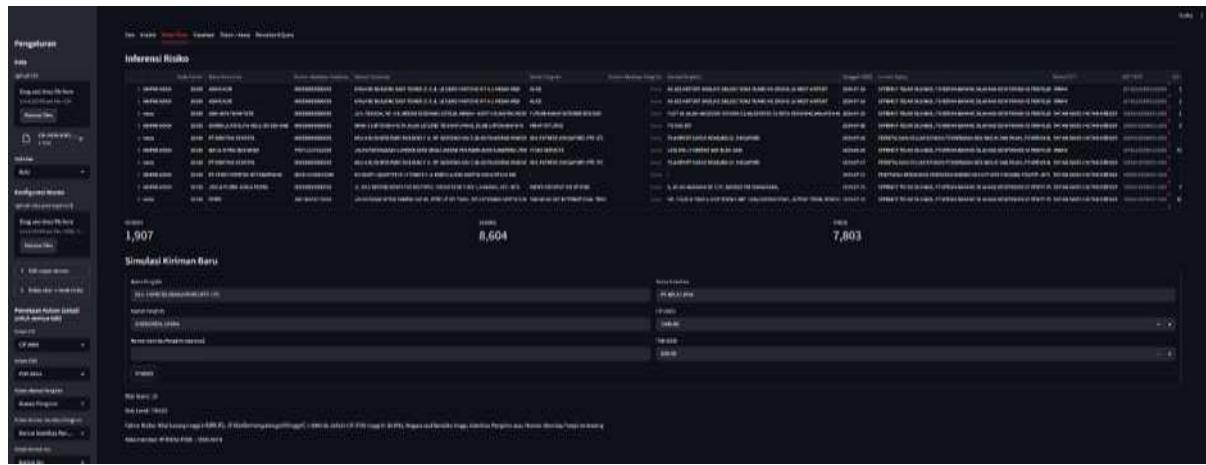
Kategori	Deskripsi	Percentase	Prioritas
Barang Kena Cukai	Rokok elektrik, minuman beralkohol, hasil tembakau tanpa pita cukai atau izin	35%	Tinggi
Barang Terlarang	Narkotika, senjata, pornografi, bahan berbahaya	12%	Sangat Tinggi
Pelanggaran Batas Nilai	Under-declaration, split-shipment, nilai melebihi US\$1.500	45%	Sedang-Tinggi
Ketidaksesuaian Dokumen	SKA palsu, izin BPOM kedaluwarsa, sertifikat SNI tidak sesuai	20%	Sedang
Barang Palsu/HAKI	Tas, sepatu, jam tangan palsu dari merek terkenal	18%	Sedang-Tinggi

Kategori risiko pelanggaran batas nilai merupakan yang terbanyak (45%), diikuti oleh barang kena cukai (35%), ketidaksesuaian dokumen (20%), barang palsu/HAKI (18%), dan barang terlarang (12%). Meskipun persentasenya paling rendah, barang terlarang memiliki prioritas tertinggi karena ancaman keamanan dan kesehatan masyarakat yang signifikan.



Gambar 1. Interface Upload dan Pratinjau Data Barang Kiriman

Sebagai ditampilkan pada Gambar 1, sistem menyediakan *interface user-friendly* untuk upload data barang kiriman dalam format CSV dengan kapasitas hingga 18.314 baris dan 30 kolom data. Periode data yang ditampilkan mencakup tanggal 26 Juli 2024 hingga 25 Oktober 2024. *Interface* ini juga dilengkapi dengan fitur tambah data manual untuk *input* kiriman baru, memungkinkan fleksibilitas dalam *entry* data baik secara *batch* maupun individual sesuai kebutuhan operasional di lapangan.



Gambar 2. Interface Inferensi Risiko dan Simulasi Kiriman Baru

Berdasarkan Gambar 2, sistem telah menganalisis 1.907 kiriman dan mengklasifikasikannya ke dalam tiga kategori: Rendah, Sedang (8.604 kiriman), dan Tinggi (7.803 kiriman). Interface simulasi kiriman baru memungkinkan petugas menginput parameter seperti nama pengirim (DHL EXPRESS SINGAPORE PTE LTD), alamat pengirim (SHENZHEN, CHINA), nomor identitas pengirim (optional), dan analisis otomatis untuk menentukan tingkat risiko. Sistem memberikan rekomendasi berbasis aturan dengan faktor risiko yang jelas, misalnya: "Nilai barang rendah (<500.00), Nilai/berat/jumlah tinggi (>1000.0), Salah CIF FOB lebih dari 20 dulu, Negara asal berisian tinggi, Identitas Pengirim atau Nomor Identitas Pengirim kosong" dengan rekomendasi tindakan "PERIKSA FISIK + DOKUMEN".

Basis Pengetahuan Sistem Pakar

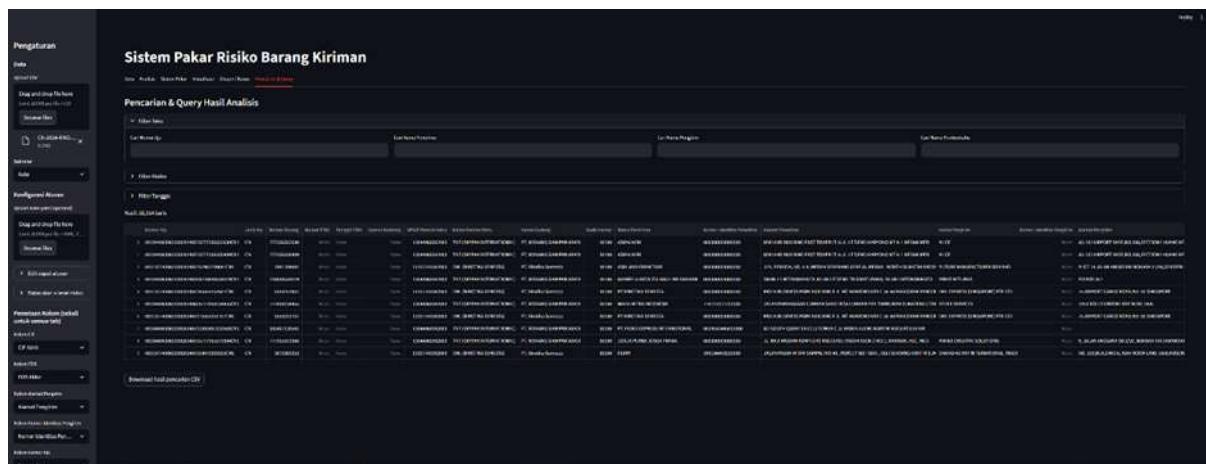
Basis pengetahuan sistem pakar berisi 47 aturan IF-THEN yang diturunkan dari PMK 4/2025 dan pengetahuan tacit petugas ahli. Aturan-aturan ini dikelompokkan berdasarkan kategori risiko dan dirancang untuk dapat dieksekusi secara efisien oleh mesin inferensi forward chaining. Tabel 2 menunjukkan contoh aturan dari masing-masing kategori risiko.

Tabel 2. Contoh Aturan Basis Pengetahuan

Aturan
IF jenis_barang = 'Narkotika' OR jenis_barang = 'Senjata' THEN risiko = 'Tinggi' AND tindakan = 'Sita & Proses Hukum'
IF jenis_barang = 'Rokok' AND nilai > 1000000 AND tidak_adu_ijin = TRUE THEN risiko = 'Tinggi' AND tindakan = 'Sita & Kenakan Sanksi'
IF jenis_barang = 'Elektronik' AND nilai > 1500000 AND tidak_adu_sni = TRUE THEN risiko = 'Sedang' AND tindakan = 'Periksa & Verifikasi'
IF jenis_barang = 'Pakaian' AND nilai < 1000000 AND dokumen_lengkap = TRUE THEN risiko = 'Rendah' AND tindakan = 'Lepas'
IF brand_terkenal = TRUE AND harga < (harga_pasar * 0.5) THEN risiko = 'Sedang-Tinggi' AND tindakan = 'Periksa Keaslian'

Implementasi Sistem

Sistem diimplementasikan dengan arsitektur berbasis web menggunakan Flask sebagai framework backend. Antarmuka pengguna dirancang intuitif dengan form input untuk memasukkan karakteristik barang kiriman (jenis barang, nilai, negara asal, dokumen pendukung, dll.). Mesin inferensi PyKnow memproses input berdasarkan aturan dalam basis pengetahuan dan menghasilkan output berupa tingkat risiko (Tinggi, Sedang, Rendah) dan rekomendasi tindakan (Sita & Proses Hukum, Periksa & Verifikasi, Lepas, dll.).



Gambar 3. Interface Pencarian dan *Query* Hasil Analisis Sistem Pakar

Sebagaimana tertera pada Gambar 3, sistem dilengkapi dengan fitur pencarian dan *query* yang komprehensif untuk menelusuri hasil analisis. *Interface* ini memungkinkan petugas melakukan penelusuran cepat terhadap 18.314 data kiriman menggunakan filter multi-kriteria (nomor aju, nama penerima, nama pengirim, dan nama pemberitahu) untuk keperluan investigasi atau *compliance audit*. Waktu respons sistem untuk melakukan pencarian tetap konsisten di bawah 1 detik, bahkan dengan volume data yang besar.

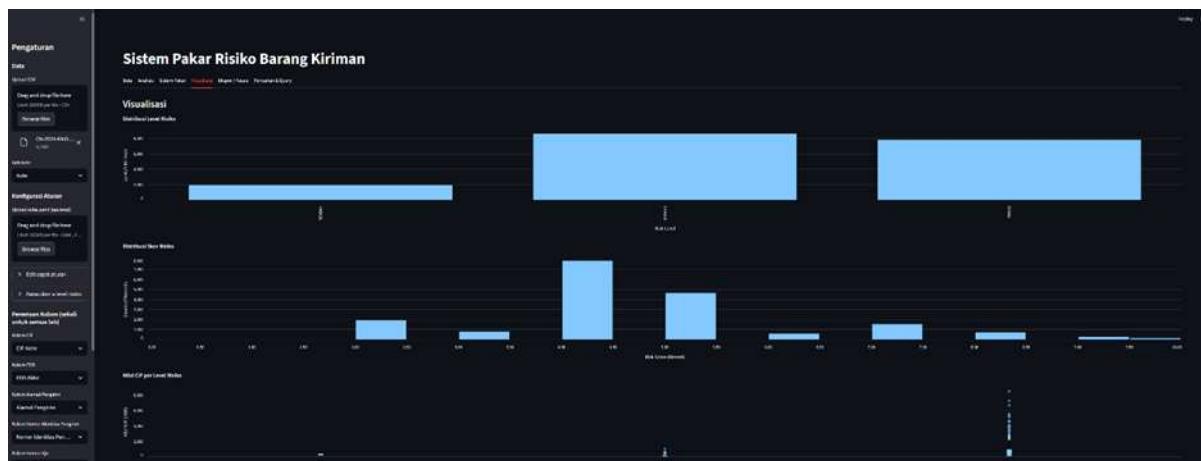


Gambar 4. Dashboard Statistik Deskriptif Sistem Pakar Risiko Barang Kiriman

Sebagaimana terlihat pada Gambar 4, sistem menampilkan *dashboard* statistik deskriptif komprehensif dari 18.314 barang kiriman yang telah dianalisis dengan total nilai mencapai Rp6.169 miliar. *Dashboard* menunjukkan distribusi status kiriman berdasarkan

Sistem Pakar Untuk Identifikasi Risiko Barang Kiriman Di Bandara Internasional Kualanamu Berbasis Forward Chaining

berbagai kategori, dengan visualisasi horizontal bar chart yang memudahkan petugas dalam memahami pola distribusi risiko secara keseluruhan. Rata-rata nilai per kiriman tercatat sebesar Rp336.880 dengan nilai median Rp147.570, mengindikasikan adanya variasi signifikan dalam nilai barang kiriman yang masuk. *Dashboard* ini memberikan gambaran makro performa sistem dan membantu manajemen dalam *monitoring* operasional secara *real-time*.



Gambar 5. Visualisasi Distribusi Level Risiko dan Skor Risiko

Tampilan pada Gambar 5 mengilustrasikan tiga visualisasi penting: distribusi level risiko menunjukkan dominasi kategori Sedang dan Tinggi, distribusi skor risiko yang bervariasi dengan konsentrasi pada rentang tertentu, dan nilai CIF (*Cost, Insurance, and Freight*) per level risiko yang memberikan *insight* tentang korelasi antara nilai ekonomis dengan tingkat risiko. Visualisasi ini mendukung monitoring tren risiko secara *real-time* dan memfasilitasi pengambilan keputusan berbasis data oleh manajemen Bea Cukai.



Gambar 6. Statistik Pelanggaran Berdasarkan Penerima dan Pemberitahu

Merujuk pada Gambar 6, analisis terhadap pola pelanggaran mengungkapkan bahwa PT BINTANG SEMESTA mendominasi dengan 650 kasus pelanggaran, diikuti oleh TNT SKYPAK INTERNATIONAL dengan 439 kasus. Dari sisi pemberitahu, DHL SINOTRANS SIMATUPANG mencatat jumlah pelanggaran tertinggi dengan 11.960 kasus. Data ini memberikan *insight* penting bagi petugas bea cukai untuk melakukan *targeted inspection*.

terhadap pengirim dan penerima dengan *track record* pelanggaran tinggi, mendukung strategi *risk-based enforcement* yang lebih efektif.

Hasil Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan terhadap 100 kasus barang kiriman yang telah terverifikasi oleh petugas ahli. Kasus-kasus ini mencakup distribusi: 30 kasus risiko tinggi, 40 kasus risiko sedang, dan 30 kasus risiko rendah. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian sistem berdasarkan metrik evaluasi standar.

Tabel 3. Hasil Pengujian Performa Sistem

Metrik Evaluasi	Hasil
Akurasi	87%
Presisi	85%
Recall	89%
F1-Score	87%
Waktu Pemrosesan Rata-rata	0,8 detik

Hasil pengujian menunjukkan performa yang sangat baik. Akurasi 87% menunjukkan bahwa sistem mampu mengklasifikasikan risiko dengan tepat pada 87 dari 100 kasus. Nilai recall 89% menunjukkan kemampuan sistem dalam mendeteksi kasus berisiko tinggi, yang sangat penting dalam konteks keabeanan untuk menghindari lolosnya barang berbahaya. Waktu pemrosesan 0,8 detik menunjukkan efisiensi sistem yang sangat tinggi dibandingkan proses manual yang membutuhkan 5-10 menit per kasus.

Analisis lebih detail menunjukkan bahwa *recall* per kategori risiko bervariasi: Risiko Tinggi (92%), Risiko Rendah (90%), dan Risiko Sedang (82%). *Recall* yang lebih rendah pada kategori risiko sedang disebabkan oleh kompleksitas kriteria yang memerlukan pertimbangan *multiple* faktor dan nilai *threshold* yang lebih dinamis.

Perbandingan dengan Proses Manual

Perbandingan antara sistem pakar dan proses manual dilakukan berdasarkan beberapa aspek kunci. Tabel 4 menunjukkan perbandingan komprehensif antara kedua pendekatan.

Tabel 4. Perbandingan Sistem Pakar vs Proses Manual

Aspek	Sistem Pakar	Proses Manual
Konsistensi	Selalu konsisten	Bervariasi tergantung petugas
Kecepatan	< 1 detik	5-10 menit
Kapasitas	Tidak terbatas	Terbatas oleh jumlah petugas
Dokumentasi	Otomatis dan lengkap	Sering tidak lengkap
Ketersediaan	24/7 tanpa henti	Terbatas jam kerja
Transparansi	Penjelasan aturan yang digunakan	Tergantung petugas

Keunggulan utama sistem pakar terletak pada konsistensi, efisiensi waktu, dan skalabilitas. Sistem memberikan hasil yang konsisten untuk input yang sama, sementara penilaian manual dapat bervariasi antar petugas atau bahkan pada waktu yang berbeda oleh petugas yang sama. Waktu pemrosesan yang sangat cepat (< 1 detik) memungkinkan pemeriksaan volume besar tanpa menambah beban kerja petugas.

Namun, sistem pakar juga memiliki keterbatasan. Kasus-kasus unik atau kompleks yang memerlukan pertimbangan kontekstual mendalam dan intuisi manusia masih memerlukan intervensi petugas ahli. Oleh karena itu, sistem ini dirancang sebagai alat bantu keputusan (*decision support system*) yang meningkatkan efisiensi petugas, bukan menggantikan peran mereka sepenuhnya.

Implementasi sistem pakar ini membawa beberapa implikasi praktis yang signifikan bagi operasional Bea Cukai Bandara Kualanamu. Pertama, sistem memungkinkan petugas untuk fokus pada pemeriksaan fisik barang-barang yang benar-benar berisiko tinggi, meningkatkan efektivitas penggunaan sumber daya terbatas. Kedua, proses yang lebih cepat mengurangi waktu tunggu *clearance* barang kiriman, meningkatkan kepuasan pengguna jasa. Ketiga, dokumentasi otomatis yang lengkap mendukung audit trail dan *compliance* terhadap regulasi. Keempat, data historis yang terkumpul dapat dianalisis untuk mengidentifikasi pola dan tren pelanggaran, mendukung pengembangan strategi *enforcement* yang lebih efektif. Kelima, sistem dapat menjadi platform untuk *knowledge management*, menyimpan dan mendistribusikan pengetahuan ahli kepada petugas baru.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa terdapat lima kategori risiko utama pada barang kiriman di Bandara Kualanamu, yakni barang kena cukai (35%), barang terlarang (12%), pelanggaran batas nilai (45%), ketidaksesuaian dokumen (20%), dan barang palsu/HAKI (18%), yang telah divalidasi sesuai dengan PMK Nomor 4 Tahun 2025. Sistem pakar berbasis forward chaining yang dikembangkan terbukti efektif dalam mengidentifikasi risiko barang kiriman dengan akurasi 87%, presisi 85%, recall 89%, F1-score 87%, dan waktu pemrosesan rata-rata 0,8 detik, menunjukkan kinerja yang akurat dan konsisten dalam waktu yang sangat cepat.

Implementasi sistem ini meningkatkan efisiensi proses identifikasi risiko secara signifikan dibandingkan proses manual, terutama dalam hal konsistensi, kecepatan, kapasitas, dan dokumentasi, serta memberikan kontribusi besar bagi tugas Bea Cukai Bandara Kualanamu dalam mengamankan arus barang kiriman internasional. Sistem ini juga sesuai dengan regulasi PMK Nomor 4 Tahun 2025 dan dapat menjadi model implementasi teknologi sistem pakar dalam domain kepabeanan di Indonesia.

Saran penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan sistem ini dengan CEISA untuk memperoleh data real-time, memperbarui basis pengetahuan secara berkala, memberikan pelatihan komprehensif kepada petugas bea cukai, mengembangkan fitur machine learning untuk adaptasi otomatis, memperluas implementasi ke kantor bea cukai lainnya dengan penyesuaian lokal, serta melanjutkan penelitian untuk mengintegrasikan teknologi computer vision dalam analisis citra X-ray barang kiriman untuk meningkatkan akurasi deteksi barang terlarang dan berbahaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Faisal, F., Opitasari, O., & Mufti, A. (2024). Sistem Pakar Pendiagnosa Penyakit Mata Dengan Metode Forward Chaining. *Semnas Ristek (Seminar Nasional Riset Dan Inovasi Teknologi)*, 8(01).
- Ikrar, T. (2025). *Harmoni Keamanan & Inovasi: Visi Strategis BPOM Menuju Indonesia Emas*

2045. PT. Revormasi Jangkar Philosophia.
- Junfirio, M., Amelia, A. S., Maelani, O. R., Ma'ruf, M., & Maulida, F. C. (2024). Analisis Strategi Bea Cukai Dalam Mengatasi Peredaran Rokok Ilegal. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(6), 9399–9406.
- Listiana, N. (2025). Implementasi Sistem Pakar Forward Chaining Diagnosa Penyakit Infeksi Bakteri. *REMIK: Riset Dan E-Jurnal Manajemen Informatika Komputer*, 9(3), 1033–1044.
- Mappangara, A. S. C. (2024). Sistem Layanan Transportasi Laut: ISBN: 978-623-89432-5-8. *Book-Professorline*, 278-Halaman.
- Mori, F., & Wahyudin, D. (2024). Implementasi Kebijakan Pelayanan Electronic Customs Declaration (E-CD) dalam Upaya Meningkatkan Pengawasan Atas Barang Penumpang di Kantor Pelayanan Utama Bea dan Cukai Tipe C Soekarno Hatta. *Neraca: Jurnal Akuntansi Terapan*, 6(2), 81–96.
- Muhammad, F. (2024). Strategi Optimalisasi Pengawasan Barang Bawaan Penumpang?: Studi Kasus Pada KPU BC Soekarno Hatta. *Journal Perspektif Bea Dan Cukai*, 8(2), 231–249.
- Nur, M. N. A., Musaruddin, M., DLM, N. Z., Alam, W. O. S. N., & Maskki, G. A. N. (2024). Sistem Pendukung Keputusan Untuk Mendiagnosis Kerusakan Televisi Dengan Metode Forward Chaining. *Jurnal Fokus Elektroda: Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika Dan Kendali*, 9(2), 131–139.
- Panggabean, R. (2023). *Efektifitas Pelayanan Pemeriksaan Fisik Barang Impor Dengan Penerapan Single Submission (SSM) Kepabeanan dan Karantina Melalui Joint Inspection pada Kantor Pengawasan dan Pelayanan Bea dan Cukai Tipe Madya Pabean Belawan, Sumatera Utara*.
- Prayitno, A. (2024). Pro Kontra Kebijakan Pembatasan Barang Bawaan Luar Negeri: Optimalisasi Peran Bea Cukai Vis a Vis Mispersepsi Publik. *Dinamika Global: Jurnal Ilmu Hubungan Internasional*, 9(1), 59–85.
- Pudjianto, H., Fitriani, A. S., Dijaya, R., & Suprianto, S. (2024). Sistem Pakar Manajemen Risiko Untuk Pengembangan Aplikasi Menggunakan Metode Forward Chaining. *Jutisi: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 13(2), 932–945.
- Putra, P. E. A. H. (2024). *Analisis Mekanisme Penanganan Barang Impor di Jalur Merah Bandar Udara Ngurah Rai oleh CV. Purawa RaPutra*, P. E. A. H. (2024). *Analisis Mekanisme Penanganan Barang Impor di Jalur Merah Bandar Udara Ngurah Rai oleh CV. Purawa Raya Globelink Denpasar Bali*. Politeknik Negeri Bali.
- Rahmania, K. (2025). *Pengelolaan Administrasi Dan Kegiatan Pengawasan Di Kantor Pengawasan Dan Pelayanan Bea Dan Cukai Tipe Madya Pabean B (Kppbc Tmp B) Yogyakarta (Laporan Magang)*. Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi YKPN Yogyakarta.
- Ramadhan, F., & Nurcahyo, G. W. (2024). Penerapan Forward Chaining dan Metode Certainty Factor dalam Merancang Sistem Pakar Diagnosa Gangguan Kepribadian. *Jurnal KomtekInfo*, 213–221.
- Ramdani, A. C., Budiana, H. R., & Prastowo, F. X. A. A. (2024). Manajemen Krisis Direktorat Jenderal Bea dan Cukai Kementerian Keuangan dalam Mengembalikan Kepercayaan Publik. *Socius: Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Sosial*, 2(2), 67–83.
- Sajida, M., & Nurcahyo, G. W. (2024). Perancangan Sistem Pakar Dengan Metode Forward Chaining dan Certainty Factor Untuk Mendeteksi Penyakit Kelinci. *Jurnal KomtekInfo*,

98–105.

- Samsir, S., Syahputra, A., & Subagio, S. (2025). Expert System for Stroke Diagnosis Using the Forward Chaining Method for Lecturers at UNIVA Labuhanbatu. *CSRID (Computer Science Research and Its Development Journal)*, 17(2), 176–190.
- Sapriadi, S., Syaputra, A. E., Eirlangga, Y. S., Manurung, K. H., & Hayati, N. (2023). Sistem Pakar Diagnosa Gaya Belajar Mahasiswa Menggunakan Metode Forward Chaining. *Jurnal Informasi Dan Teknologi*, 5(3), 71–78.
- Supiyan, D. (2025). Pengembangan Sistem Pakar Untuk Diagnosa Penyakit Diabetes Melitus Menggunakan Metode Forward Chaining. *Bit-Tech*, 7(3), 918–927.
- Zakaria, M. F. N. (n.d.). *Sistem pakar rekomendasi pembelian mobil dari aspek penghasilan kerja menggunakan metode forward chaining*. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

