

HASIL DAN PEMBAHASAN

ID:20220317161039

Pemahaman Masalah

Pada bagian ini, dikupas lebih dalam proses perencanaan distribusi uang rupiah serta dipetakan bagaimana inventori dan transportasi diintegrasikan dalam pengambilan keputusan. Pertama, diidentifikasi pemangku kepentingan dalam sistem. Kemudian, permasalahan distrukturkan menjadi elemen-elemennya. Terakhir, permasalahan dipertajam dengan bantuan diagram jaringan serta *influence diagram*.

Analisis Pemangku Kepentingan

Pemangku kepentingan dalam sistem distribusi disajikan dalam Tabel xx. Peran dibagi menjadi empat, yaitu *problem owner*, *problem user*, *problem customer*, dan *problem analyst*.

Peran	Entitas
Problem Owner	DPU
Problem User	DPU, penyedia moda transportasi, pengelola khazanah
Problem Customer	Bank komersial, masyarakat umum
Problem Analyst	Peneliti

Sesuai dengan kemunculannya, pemilik masalah atau *problem owner* operasionalisasi distribusi adalah DPU di mana harus dapat dihasilkan rencana distribusi yang menjamin terpenuhinya kebutuhan masyarakat akan uang rupiah serta meminimalkan biaya total layanan. Selain itu, DPU juga merupakan petugas pelaksana rencana yang sudah dibuat dengan dibantu oleh penyedia moda transportasi serta pengelola khazanah di tempat masing-masing. Ketiga entitas ini masuk sebagai pengguna permasalahan atau *problem user* yang mengikuti arahan dari pemilik permasalahan. Terdapat empat penyedia moda transportasi rekanan Bank Indonesia, yaitu PT Selog (truk), PT Peln (kapal penumpang), PT Silkargo (kapal barang), dan PT KAI (kereta api). Dampak dari kegagalan atau keberhasilan permasalahan ini adalah terjadinya kekurangan atau kelebihan uang rupiah yang beredar di bank-bank komersial dan masyarakat umum sebagai *problem customer*. Terakhir, terdapat peneliti sebagai *problem analyst* yang dengan tekun dan sabar membedah dan mengembangkan solusi untuk sistem.

Identifikasi Elemen Permasalahan

Dari rumusan masalah, pengintegrasian inventori dan transportasi untuk optimalisasi operasionalisasi distribusi dapat dipecah menjadi elemen-elemennya. Keenam elemen ini disajikan pada Tabel xx.

Elemen	Entitas
Pengambil Keputusan	DPU
Objektif	Pengedaran uang optimal
Ukuran Performa	Biaya total layanan, pemenuhan kebutuhan uang rupiah, utilisasi jaringan logistik (moda transportasi dan gudang penyimpanan)
Kriteria Keputusan	Minimal, fisibel (semua kebutuhan terpenuhi), fisibel (mengikuti kapasitas gudang dan kapasitas terkait transportasi)
Alternatif Tindakan	Semua kemungkinan pasangan khazanah asal-tujuan, moda transportasi yang digunakan, besar muatan uang yang dikirimkan, serta kontainer – atau satuan pengepakan lain – yang dibutuhkan untuk mengenkapsulasi uang yang dikirimkan
Konteks	<i>Narrow System of Interest</i> : sistem distribusi uang rupiah Bank Indonesia, <i>Wider System of Interest</i> : rantai suplai Bank Indonesia dengan produksi di PERURI, peramalan di Departemen Kebijakan Makroprudensial, beserta fungsi-fungsi lain yang terkait

Seperti dijelaskan pada bagian sebelumnya, pengambil keputusan dalam tiap permasalahan perencanaan distribusi adalah DPU. Objektif dari DPU adalah pengedaran uang yang optimal di mana hal ini diukur dari biaya total layanan, pemenuhan kebutuhan uang rupiah, dan utilisasi jaringan logistik. Keoptimalan tercapai ketika ukuran-ukuran performa mencapai kriteria keputusan masing-masing. Alternatif DPU adalah semua kemungkinan pengantaran yang dapat dilakukan dalam sebuah periode. Pembuatan rencana distribusi ini merupakan bagian dari sistem distribusi uang rupiah – yang merupakan bagian dari rantai suplai secara keseluruhan.

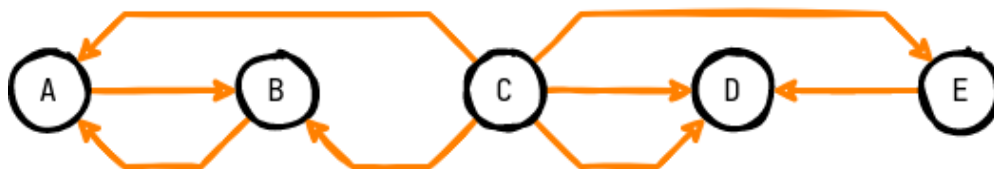
Deskriptor	Deskripsi
Komponen Sistem	Subsistem inventori dan transportasi
Aktivitas Sistem	Perencanaan distribusi, koordinasi dengan penyedia moda transportasi, eksekusi pengiriman pengisian ulang uang, penerimaan pengisian ulang uang, pengedaran uang ke masyarakat, penerimaan uang kembali dari masyarakat

Deskriptor	Deskripsi
Hubungan Antarkomponen	Subsistem inventori menentukan besar dan waktu pengisian ulang, subsistem transportasi melaksanakan pengisian ulang, inventori menarik data tingkat persediaan untuk kemudian mengulang penentuan pengisian ulang
Masukan dari Lingkungan	Estimasi kebutuhan uang rupiah, moda transportasi yang dapat digunakan beserta biaya-biaya terkait, tingkat persediaan di tiap-tiap khazanah (dari periode sebelumnya), kapasitas penyimpanan khazanah, kapasitas terkait kontainer moda transportasi
Keluaran ke Lingkungan	Aliran net dari dan ke tiap-tiap khazanah serta aliran net uang rupiah dari dan ke masyarakat
Proses Transformasi	Perencanaan dan eksekusi pengiriman uang rupiah dari informasi yang ada

Untuk memberikan resolusi lebih tinggi terkait sistem distribusi, diberikan detail deskripsi sistem pada Tabel xx di atas. Tabel ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang menyeluruh akan permasalahan dari sistem relevan.

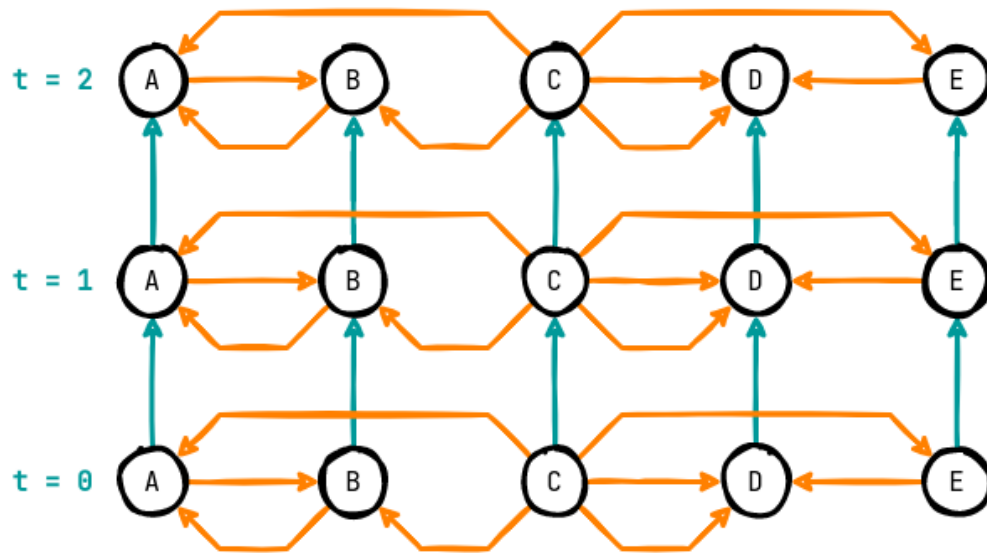
Pengembangan Diagram Sistem Relevan

Sistem dan permasalahannya merupakan sebuah jaringan. Trayek-trayek dari penyedia moda transportasi menghubungkan khazanah-khazanah Bank Indonesia dan menyusun jaringan tersebut. Jaringan ini digambarkan sebagai sebuah multigraf di mana terdapat busur-busur paralel karena ada lebih dari satu moda yang menghubungkan sepasang titik seperti pada Gambar xx. Pada gambar ini, jumlah titik dan trayek moda transportasi dikurangi untuk kepentingan visualisasi.



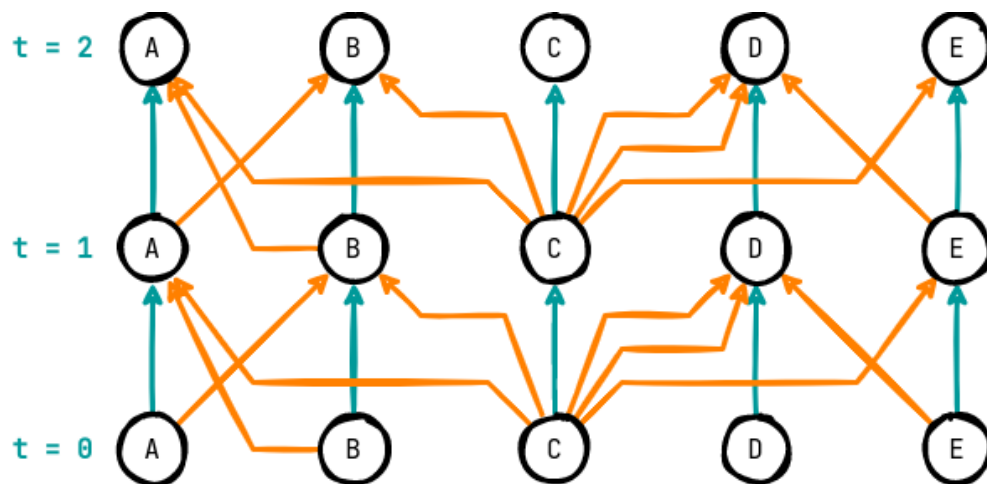
Jaringan-Base.drawio.png

Namun, jaringan seperti ini tidaklah cukup untuk merepresentasikan masalah yang ingin diselesaikan karena tidak menangkap aspek waktu yang krusial dalam pengendalian inventori. Untuk dapat menangkap aspek waktu, jaringan di atas diekspansi seturut dengan periode waktu yang ingin ditelisik. Trayek yang menghubungkan antarkhazanah diduplikasi di setiap periode dan khazanah di setiap periode dihubungkan oleh busur di mana inventori mengalir – yang kita sebut busur inventori. Jaringan terekspansi ini dapat dilihat pada Gambar xx.



Jaringan-Expanded-0.drawio.png

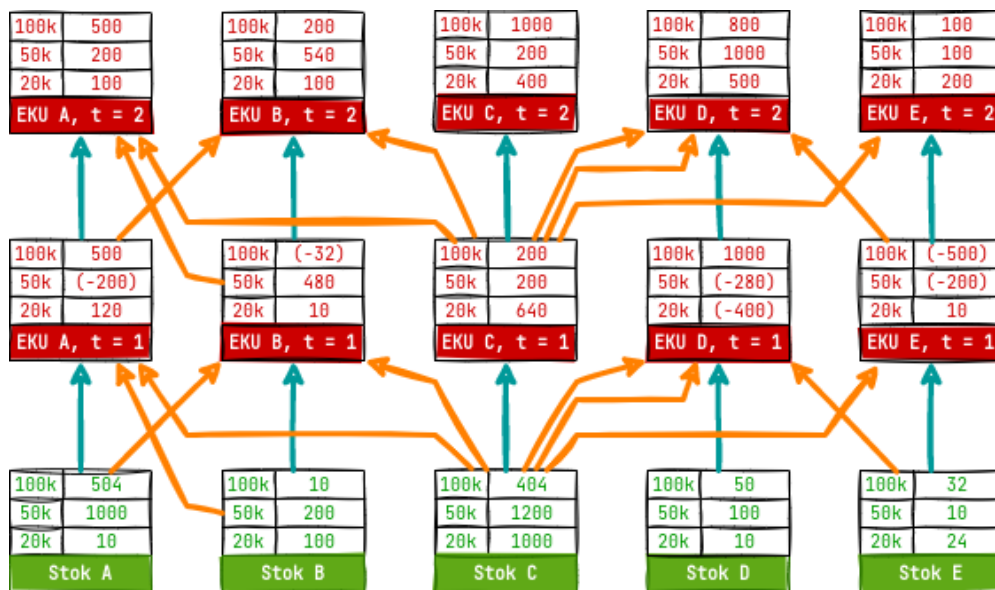
Meskipun sudah menginkorporasikan aspek temporal ke dalam representasi permasalahan, diagram jaringan ini mengasumsikan transportasi terjadi secara instan. Hal ini sulit dieksekusi dalam sistem distribusi bervolume besar seperti yang dilakukan oleh DPU sehingga dibentuk jaringan terekspansi dengan asumsi transportasi yang dimulai pada sebuah periode selesai tepat sebelum periode berikutnya dimulai. Konsep durasi pengiriman dapat diatur sedemikian rupa untuk mengakomodasi waktu pengiriman yang beragam, namun untuk masalah ini digunakan durasi pengiriman sebesar satu unit periode. Jaringan terekspansi ini dapat dilihat pada Gambar xx.



Jaringan-Expanded-1.drawio.png

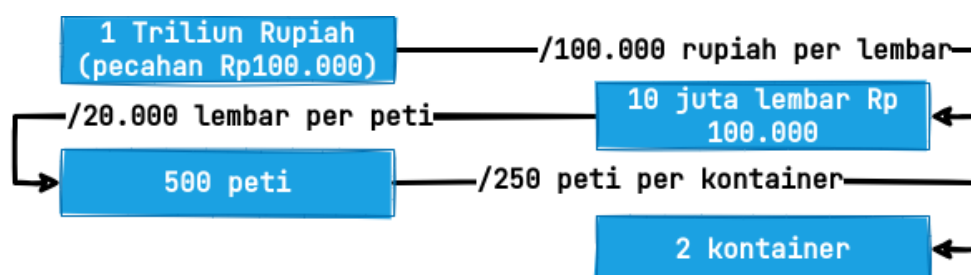
Di setiap khazanah pada setiap periode, terdapat Estimasi Kebutuhan Uang (EKU) yang harus dipenuhi oleh DPU. Estimasi ini terbagi-bagi untuk tiap pecahan uang kartal di mana terdapat tujuh (7) pecahan uang kertas dan lima (5) pecahan uang logam. Estimasi ini merupakan kombinasi *outflow* dan *inflow* dengan nilai positif melambangkan uang rupiah keluar ke masyarakat. Mungkin terdapat aliran bernilai negatif di saat aliran masuk dari masyarakat lebih besar daripada uang rupiah yang dialirkan keluar. Selain itu, di awal periode, DPU memiliki data terkait tingkat persediaan tiap pecahan di setiap lokasi. Rencana

distribusi yang dibuat dalam permasalahan ini nantinya harus bisa memenuhi baik aliran keluar atau aliran masuk kembali ke khazanah. Jaringan dengan data persediaan dan estimasi kebutuhan uang yang harus dipenuhi dapat dilihat pada Gambar xx.



Jaringan-Complete.drawio.png

Beberapa hal yang penting untuk dicatat namun tidak dapat terlihat dalam diagram di atas adalah bagaimana uang rupiah mengalir dalam jaringan tersebut. Pertama, tiap-tiap pecahan uang rupiah akan dikemas dalam peti-peti uang. Konversi yang diberikan DPU adalah bahwa satu (1) peti dapat memuat 20.000 lembar uang kertas atau 5.000 keping uang logam. Kemudian, kumpulan-kumpulan peti ini dikemas oleh kontainer tiap-tiap moda yang memiliki kapasitas-kapasitas berbeda. Terdapat contoh konversi yang diilustrasikan pada Gambar xx. Pada contoh ini, moda kendaraan dapat menampung 250 peti uang.



Konversi Pecahan.drawio.png

Untuk menggambarkan hubungan antareleman permasalahan yang diselesaikan di setiap titik pada setiap periode, dibangun *influence diagram*. Untuk konstruksinya, elemen-elemen permasalahan yang sudah ada dikelompokkan sesuai dengan komponen-komponen dari *influence diagram* itu sendiri. Pengelompokan ini terdapat pada Tabel xx.

Kelompok	Anggota

Kelompok	Anggota
Masukan Terkontrol	Pasangan khazanah asal-tujuan, moda transportasi yang digunakan, besar muatan uang yang dikirimkan, serta kontainer – atau satuan pengepakan lain – yang dibutuhkan untuk mengenkapsulasi uang yang dikirimkan
Masukan Tak Terkontrol	Kapasitas kontainer moda pengiriman, kapasitas khazanah penyimpanan, komponen biaya tetap dan komponen biaya variabel moda transportasi, estimasi kebutuhan uang rupiah, persediaan di khazanah (dari periode sebelumnya)
Keluaran	

influence diagram

Formulasi Model

Penyusunan Model

konsep dasar model:

- model deterministik + why
 - direct shipping strategy + why (Custódio and Oliveira 2006) pg 10/21
 - penggunaan forecast + why
 - pemrograman bilangan bulat
 - lebih spesifik lagi, strukturnya mirip min cost multicommodity network flow
- eksposisi model:
- list persamaan2nya

Verifikasi Model

tabel konversi satuan

Pengembangan Prosedur Pencarian Solusi

Implementasi Algoritma

pola dasar algoritma:

- dari jenis model: pemrograman integer => relaksasi (simpleks) + branch and cut → teknik dasar algoritma
- dari ukuran permasalahan: sifat optimasinya aproksimasi (kasih *rule* aproksimasi) → sifat optimasi perangkat komputasi:
- hardware: spek komputer → digunakan komputer karena ukuran permasalahan

- software: Julia Mathematical Programming (JuMP) + Gurobi diprogram dengan bahasa pemrograman julia → krn jenis modelnya struktur data:
- tabel-tabel libs init (khazanah moda trayek demand_forecast)
- transformasi-transformasi dr data ke model (hubungan data dengan variabel yg mau dibuat) eksposisi algoritma:
- pseudocode algoritma

Verifikasi Algoritma

test cases:

- zero demand => zero transport
- single stock supplier, multiple demand location, same cost, same distance => break bulk
- multiple stock supplier, single demand location, same cost, same distance => consolidate
- not enough stock => infeasible
- emulate frontloading

Pengujian, Analisis, dan Perbaikan Model

Validasi Model

Analisis Sensitivitas

Analisis Struktur Jaringan

Analisis Horizon Perencanaan

Analisis Akurasi Ramalan

Analisis Implikasi Manajerial

Pengumpulan Data

Sumber Data:

- Rekapitulasi OIP ECU (2019)
- Rekapitulasi Biaya Remise KDK (2017)
- Rekapitulasi Biaya Remise DPU (2017)
- Rute Kapal Barang Sesuai Kontrak (2015)
- Rute Kapal Penumpang Sesuai Kontrak (2015)
- Rute Kereta Api Sesuai Kontrak (2015)
- Kapasitas Khazanah Terpasang (2016)

- Lokasi Tiap Khazanah
- Laporan Pelaksanaan Tugas dan Wewenang Bank Indonesia (2019)

Kebutuhan Data:

- demand forecast (dalam peti)
 - struktur data final (kolom yang diminta/refer ke eksposisi struktur data):
i - t - value
 - dokumen input: Rekapitulasi OIP ECU (2019)
 - proses transformasi: konversi rupiah ke lembar tiap pecahan, konversi unit pecahan (lembar/keping) ke peti
- demand realization (dalam peti): merupakan dokumen turunan dari demand forecast untuk kebutuhan simulasi
 - struktur data final sama dengan demand forecast: i- t - value
 - dokumen input: demand forecast
 - proses transformasi: dibuat dua jenis fungsi transformasi yang menggunakan parameter tunggal. Fungsi-fungsi dibuat sedemikian rupa sehingga akan menghasilkan jarak Norma L1 atau Norma Manhattan yang sama untuk nilai parameter tunggal yang sama. Hal ini dilakukan untuk memudahkan pengelompokan realisasi permintaan peti uang dalam pengujian-pengujian yang dilakukan.
 - noisify_fixed: penggunaan simpangan yg bersifat konstan pada tiap entri estimasi permintaan. (eksposisi fungsinya)
 - noisify_varied: penggunaan simpangan yang bersifat proporsional terhadap tiap entri estimasi permintaan. (eksposisi fungsinya)
- stok awal (dalam peti):
 - struktur data final (kolom yang diminta/refer ke eksposisi struktur data)
 - dokumen input: sama dengan demand forecast
 - proses transformasi: sama dengan demand forecast
- trayek aktual:
 - struktur data final: u - v - moda
 - dokumen input:
 - Rekapitulasi Biaya Remise KDK (2017)
 - Rekapitulasi Biaya Remise DPU (2017)
 - proses transformasi: filter unique
- trayek usulan
 - struktur data final: u - v - moda
 - dokumen input: sama dengan trayek aktual dengan tambahan
 - sama dengan trayek aktual
 - Rute Kapal Barang Sesuai Kontrak (2015)
 - Rute Kapal Penumpang Sesuai Kontrak (2015)
 - Rute Kereta Api Sesuai Kontrak (2015)
 - proses transformasi: agregasi semua data
- parameter biaya moda transportasi:

- struktur data final: nama - kapasitas - biaya variabel (/peti) - biaya tetap (/kontainer * km)
- dokumen input:
 - Rekapitulasi Biaya Remise KDK (2017)
 - Rekapitulasi Biaya Remise DPU (2017)
- proses transformasi: regresi linear dari data pengiriman tiap moda, didapatkan hasil sebagai berikut: *penyajian hasil*

Regresi dilakukan dengan melakukan minimasi terhadap kuadrat selisih tiap observasi pengiriman dengan prediktor biaya – yang merupakan hasil kali biaya variabel tiap moda dengan peti yang diangkut dijumlahkan dengan biaya tetap dikalikan jarak serta jumlah kontainer yang digunakan – sebagai berikut:

$$\min \sum_{r \in \text{rekap}} [\text{cost}_r - \sum_{m \in \text{moda}} \text{moda}_{rm}(\text{var}_m \cdot \text{peti}_r + \text{fix}_m \cdot \text{distance}_r \cdot \text{container}_r)]^2$$

Di sini moda_{rm} merupakan variabel penanda apakah baris r dari hasil rekap pengedaran menggunakan moda m . Selain itu, dipastikan nilai biaya variabel serta biaya tetap selalu merupakan bilangan non-negatif:

$$\text{var}_m \geq 0, \forall m \in \text{moda} \quad \text{fix}_m \geq 0, \forall m \in \text{moda}$$

Didapatkan nilai R^2 sebesar 96.48% dengan hasil regresi untuk tiap moda sebagai berikut:

Moda / m	Biaya Variabel / var	Biaya Tetap / fix
Truk	Rp2.100	Rp33.254
Kapal Penumpang	Rp81.914	Rp32.781
Kapal Barang	Rp48.272	Rp43.293
Kereta Api	Rp49.189	Rp127.974

Satuan biaya variabel berlaku untuk tiap peti dan biaya tetap berlaku untuk tiap kilometer tiap kontainer.

- khazanah -> agregasi set data: menggabungkan data terkait tiap khazanah, yaitu: lokasi berupa koordinat lintang bujur dan kapasitas penyimpanan.
- tingkat aktivitas distribusi uang tahun 2019: dari laporan ini hanya dapat diekstrak realisasi agregat kebutuhan uang di Indonesia tiap pecahan, serta jumlah pengiriman tercatat serta jumlah uang yang terpindahkan.

Custódio, A. L., and R. C. Oliveira. 2006. "Redesigning Distribution Operations: A Case Study on Integrating Inventory Management and Vehicle Routes Design." *International Journal of Logistics Research and Applications* 9 (2): 169–87. <https://doi.org/10.1080/13675560600649982>.