

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Spatial Performance Criteria pada Terminal Penumpang

Spatial performance criteria pada terminal penumpang merupakan aspek yang digunakan untuk menilai efektivitas tata ruang dalam mendukung aktivitas pengguna dan operasional bangunan. Kinerja tata ruang terminal dipengaruhi oleh organisasi ruang, hubungan antar ruang, kapasitas ruang, serta pola sirkulasi penumpang di dalam bangunan. Pengaturan tata ruang yang kurang optimal dapat menyebabkan kepadatan pengguna, konflik sirkulasi, hingga *bypassing circulation* yang memengaruhi kualitas pelayanan terminal. Oleh karena itu, evaluasi terhadap performa spasial diperlukan sebagai dasar dalam proses optimalisasi *relayout* tata ruang terminal penumpang. Organisasi dan Hubungan Ruang

2.1.1 Sirkulasi Penumpang

Sirkulasi penumpang merupakan salah satu aspek penting dalam perencanaan terminal transportasi karena berkaitan dengan pola pergerakan pengguna di dalam bangunan. Sistem sirkulasi yang baik mampu mendukung kelancaran aktivitas penumpang mulai dari area masuk, proses *check-in*, pemeriksaan keamanan, ruang tunggu, hingga akses menuju moda transportasi. Sebaliknya, pengaturan sirkulasi yang kurang optimal dapat menyebabkan kepadatan pengguna, konflik pergerakan, serta *bypassing circulation* yang dapat menurunkan kualitas pelayanan terminal.

Penelitian oleh (Fierek et al., 2020) menunjukkan bahwa perencanaan terminal penumpang perlu mempertimbangkan kapasitas ruang dan pola pergerakan pengguna agar tidak terjadi kepadatan pada area kritis seperti ruang tunggu dan area pemeriksaan penumpang. Penelitian tersebut menekankan pentingnya hubungan antara kapasitas ruang dan efisiensi sirkulasi dalam mendukung performa bangunan transportasi.

Dalam perkembangan desain digital, pendekatan Building Information Modeling (BIM) mulai digunakan untuk membantu proses evaluasi dan optimalisasi tata ruang bangunan secara lebih sistematis. Penelitian oleh (Volk et al., 2014) membahas penerapan BIM pada bangunan eksisting melalui pendekatan *as-built BIM* dan *Scan-to-BIM* menggunakan perangkat lunak BIM seperti Autodesk Revit dan software pemrosesan *point cloud* untuk mendukung proses identifikasi kondisi bangunan secara digital. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa BIM

mampu meningkatkan integrasi data spasial dan mempermudah proses evaluasi desain bangunan eksisting.

Selain itu, penelitian oleh (Grabska & Ślusarczyk, 2011) menggunakan pendekatan *parametric modeling* berbasis Grasshopper pada Rhinoceros 3D untuk mendukung proses optimasi desain berbasis performa bangunan. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pendekatan parametrik mampu membantu eksplorasi alternatif desain secara lebih sistematis melalui pengolahan parameter desain dan algoritma optimasi.

Seiring perkembangan teknologi desain komputasional, penggunaan Dynamo yang terintegrasi dengan Autodesk Revit mulai banyak digunakan dalam proses optimasi tata ruang berbasis BIM karena mampu mengolah parameter ruang, hubungan antar ruang, serta pola sirkulasi secara lebih fleksibel dan terukur. Oleh karena itu, evaluasi pola sirkulasi dan hubungan antar ruang menjadi salah satu aspek penting dalam proses optimalisasi *relayout* tata ruang terminal penumpang.

2.1.2 Standar Kapasitas dan Kebutuhan Ruang

Kapasitas dan kebutuhan ruang merupakan aspek penting dalam perencanaan terminal penumpang karena berkaitan dengan kemampuan ruang dalam menampung aktivitas dan jumlah pengguna secara optimal. Perencanaan kapasitas ruang yang tidak sesuai dapat menyebabkan kepadatan pengguna, penurunan kenyamanan, serta terganggunya kelancaran sirkulasi penumpang di dalam bangunan terminal. Oleh karena itu, penentuan kebutuhan ruang perlu mempertimbangkan jumlah pengguna, jenis aktivitas, serta pola pergerakan penumpang pada bangunan transportasi publik.

Dalam bangunan terminal penumpang, ruang dengan intensitas aktivitas tinggi seperti *departure hall*, ruang tunggu keberangkatan, area pemeriksaan keamanan, dan area sirkulasi memerlukan kapasitas ruang yang memadai agar aktivitas pengguna dapat berlangsung secara efektif. Menurut (Neufert, 2012), kebutuhan ruang pada bangunan transportasi publik umumnya mempertimbangkan standar luasan per pengguna untuk menjaga kenyamanan dan ruang gerak pengguna di dalam bangunan. Selain itu, standar kebutuhan ruang terminal penumpang juga dipengaruhi oleh jumlah penumpang pada jam sibuk (*peak hour passenger*) dan tingkat pelayanan ruang (*Level of Service/LOS*).

Penelitian oleh (Fierek et al., 2020) menunjukkan bahwa kapasitas ruang dan pola distribusi ruang memiliki pengaruh terhadap kualitas pelayanan terminal penumpang. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa ketidaksesuaian kapasitas ruang dapat menyebabkan kepadatan pada area kritis seperti ruang tunggu dan area pemeriksaan penumpang sehingga memengaruhi efisiensi operasional terminal.

Dalam perkembangan desain berbasis digital, pendekatan Building Information Modeling (BIM) dan *parametric design* memungkinkan proses evaluasi kapasitas ruang dilakukan secara lebih sistematis melalui pengolahan parameter ruang dan simulasi tata ruang secara digital. Penelitian oleh (Braun et al., 2020) menjelaskan bahwa pendekatan parametrik mampu membantu proses eksplorasi alternatif desain berdasarkan parameter kebutuhan ruang dan performa bangunan secara lebih efisien.

Berdasarkan hal tersebut, standar kapasitas dan kebutuhan ruang menjadi salah satu parameter penting dalam proses evaluasi dan optimalisasi tata ruang terminal penumpang untuk menghasilkan distribusi ruang yang lebih efektif, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

2.2 Penggunaan Building Information Modeling (BIM) Parametric Design untuk Optimalisasi Tata Ruang.

Perkembangan teknologi digital dalam bidang arsitektur mendorong penggunaan pendekatan berbasis Building Information Modeling (BIM) dan *parametric design* dalam proses perancangan dan evaluasi bangunan. Building Information Modeling (BIM) merupakan metode pemodelan digital yang mampu mengintegrasikan informasi geometris dan non-geometris bangunan ke dalam satu model terintegrasi sehingga mempermudah proses perancangan, evaluasi, dan pengelolaan bangunan secara lebih sistematis. Melalui BIM, perubahan desain yang dilakukan pada suatu elemen bangunan dapat diperbarui secara otomatis pada keseluruhan model sehingga meningkatkan efisiensi proses desain.

Dalam penelitian ini, BIM digunakan melalui Autodesk Revit untuk memodelkan kondisi bangunan eksisting berdasarkan dokumen Detail Engineering Design (DED). Penggunaan BIM memungkinkan proses identifikasi ruang, hubungan antar ruang, kapasitas ruang, serta pola sirkulasi bangunan dilakukan secara lebih terukur dan terintegrasi. Penelitian oleh (Volk et al., 2014) menunjukkan bahwa penerapan BIM pada bangunan eksisting mampu membantu proses

evaluasi dan pengelolaan data bangunan secara lebih akurat melalui integrasi model digital dan data spasial bangunan.

Selain BIM, pendekatan *parametric design* juga mulai banyak digunakan dalam proses optimasi desain arsitektur. *Parametric design* merupakan pendekatan desain berbasis parameter yang memungkinkan perubahan desain dilakukan secara adaptif berdasarkan hubungan antar parameter yang telah ditentukan. Pendekatan ini memungkinkan proses eksplorasi alternatif desain dilakukan secara lebih cepat dan sistematis berdasarkan kebutuhan ruang, kapasitas pengguna, serta performa bangunan.

Penelitian oleh (Grabska & Ślusarczyk, 2011) menggunakan pendekatan *parametric modeling* berbasis Grasshopper pada Rhinoceros 3D untuk mendukung proses optimasi desain berbasis performa bangunan melalui pengolahan parameter desain dan algoritma optimasi. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pendekatan parametrik mampu menghasilkan eksplorasi alternatif desain secara lebih efektif dan terukur.

Dalam perkembangan BIM, penggunaan Dynamo yang terintegrasi dengan Autodesk Revit memungkinkan proses pengolahan parameter ruang dilakukan secara lebih fleksibel melalui sistem *visual programming*. Dynamo memungkinkan pengolahan parameter seperti kebutuhan luas ruang, hubungan antar ruang (*adjacency*), kapasitas ruang, dan pola sirkulasi penumpang dalam proses optimasi tata ruang bangunan secara digital. Penelitian oleh (Braun et al., 2020) menunjukkan bahwa pendekatan parametrik berbasis komputasional mampu meningkatkan efisiensi proses desain melalui otomatisasi eksplorasi alternatif desain berdasarkan parameter performa bangunan.

Berdasarkan hal tersebut, integrasi BIM dan *parametric design* menjadi salah satu pendekatan yang relevan dalam proses optimalisasi tata ruang karena mampu mendukung evaluasi dan pengembangan desain secara lebih sistematis, adaptif, dan berbasis data spasial bangunan.

2.2.1 Rhinoceros dan Grasshopper dalam Parametric Design

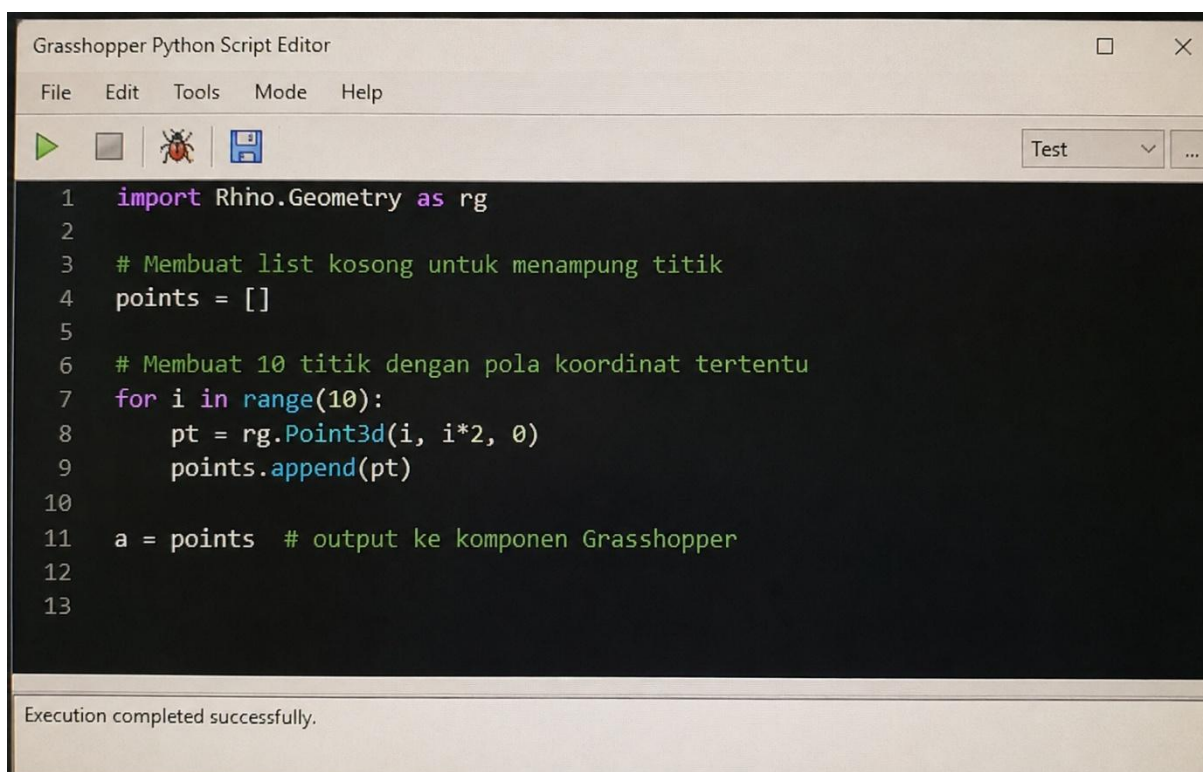
Rhinoceros 3D merupakan perangkat lunak pemodelan tiga dimensi yang banyak digunakan dalam bidang arsitektur, desain produk, dan desain parametrik karena memiliki kemampuan pemodelan geometri yang fleksibel dan kompleks. Rhinoceros, atau Rhino, banyak digunakan dalam proses eksplorasi bentuk digital dan pengembangan desain berbasis komputasional.

Dalam perkembangan desain parametrik, Rhino sering diintegrasikan dengan Grasshopper sebagai alat *visual programming* untuk mendukung proses desain berbasis parameter.

Grasshopper bekerja menggunakan sistem pemrograman visual berbasis *node* dan *wire connection* sehingga pengguna dapat membangun algoritma desain tanpa harus menulis kode pemrograman secara penuh. Pada Grasshopper, proses desain dilakukan dengan menghubungkan berbagai komponen parameter seperti titik, garis, kurva, luasan, dan transformasi geometri untuk menghasilkan bentuk atau konfigurasi desain tertentu secara parametrik.

Selain menggunakan *visual programming*, Grasshopper juga mendukung penggunaan bahasa pemrograman berbasis *script* seperti Python, C#, dan VB.NET untuk mendukung proses komputasi yang lebih kompleks. Penggunaan *scripting* memungkinkan pengguna melakukan pengolahan data, otomatisasi desain, serta pengembangan algoritma parametrik secara lebih fleksibel.

Contoh sederhana *Python scripting* pada Grasshopper untuk membuat titik parametrik dapat ditunjukkan sebagai berikut:

The image shows a screenshot of the 'Grasshopper Python Script Editor' window. The window has a menu bar with 'File', 'Edit', 'Tools', 'Mode', and 'Help'. Below the menu bar is a toolbar with icons for running (green play button), a bug (debugger), and a save icon (floppy disk). To the right of the toolbar is a 'Test' button and a dropdown arrow. The main area of the window is a dark-themed code editor containing a Python script. The script is as follows:

```
1 import Rhino.Geometry as rg
2
3 # Membuat list kosong untuk menampung titik
4 points = []
5
6 # Membuat 10 titik dengan pola koordinat tertentu
7 for i in range(10):
8     pt = rg.Point3d(i, i*2, 0)
9     points.append(pt)
10
11 a = points # output ke komponen Grasshopper
12
13
```

At the bottom of the window, there is a status bar that says 'Execution completed successfully.'

Gambar 2. 1 *Python Script* pada Grasshopper

Kode tersebut digunakan untuk menghasilkan kumpulan titik parametrik dengan pola koordinat tertentu pada lingkungan Grasshopper. Selain Python, Grasshopper juga mendukung penggunaan bahasa C# untuk pengembangan algoritma parametrik yang lebih kompleks.

Dalam bidang arsitektur, Grasshopper banyak digunakan untuk eksplorasi bentuk geometris, optimasi desain berbasis performa, simulasi lingkungan, hingga generative design. Penelitian oleh (Grabska & Ślusarczyk, 2011) menunjukkan bahwa penggunaan Grasshopper pada Rhino mampu mendukung proses optimasi desain berbasis performa melalui pengolahan parameter desain dan algoritma komputasional secara sistematis.

Meskipun memiliki kemampuan eksplorasi geometris yang tinggi, penggunaan Rhino dan Grasshopper lebih banyak difokuskan pada pengembangan bentuk dan geometri parametrik. Sementara itu, dalam penelitian ini digunakan Dynamo yang terintegrasi langsung dengan Autodesk Revit karena lebih sesuai untuk pengolahan data spasial, hubungan antar ruang, kapasitas ruang, serta optimasi tata ruang berbasis Building Information Modeling (BIM).

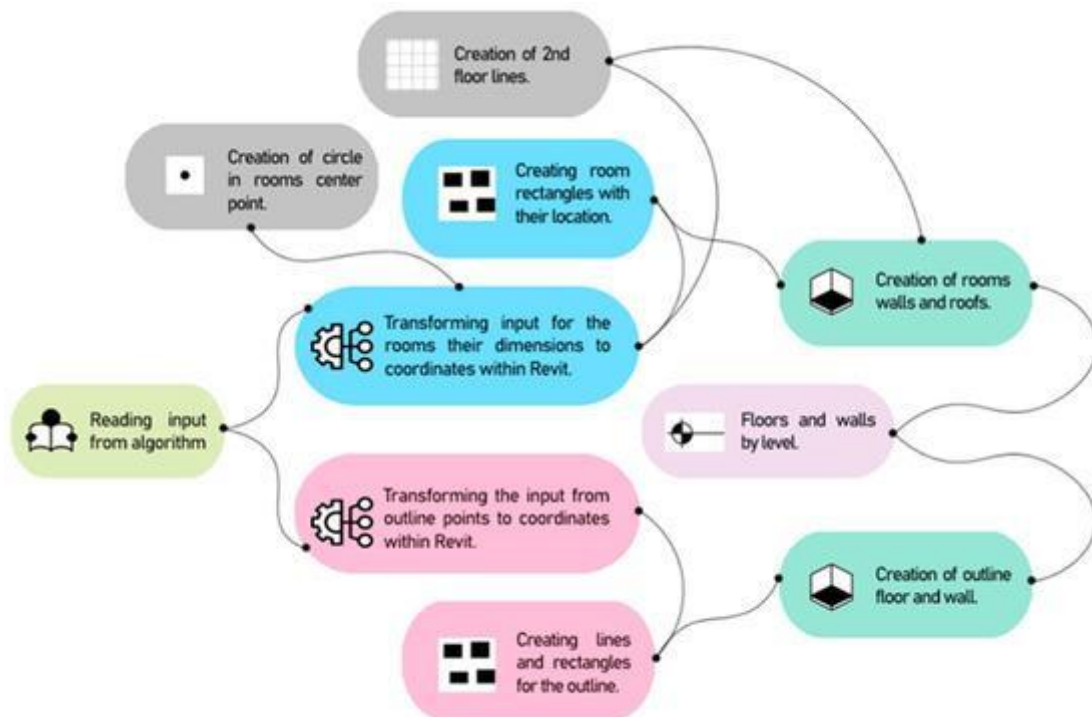
2.2.2 Autodesk Revit dan Dynamo dalam Parametric Design Parametric Design dalam Optimasi Tata Ruang

Autodesk Revit digunakan sebagai platform BIM untuk membuat model bangunan secara digital dan terintegrasi. Revit tidak hanya merepresentasikan bentuk geometris bangunan, tetapi juga menyimpan informasi data ruang, luasan ruang, material, dan hubungan antar elemen bangunan secara otomatis. Dalam penelitian ini, Revit digunakan untuk memodelkan kondisi eksisting Terminal Penumpang Pelabuhan Donggala berdasarkan dokumen Detail Engineering Design (DED) sebagai dasar dalam proses evaluasi dan pengembangan *relayout* tata ruang.

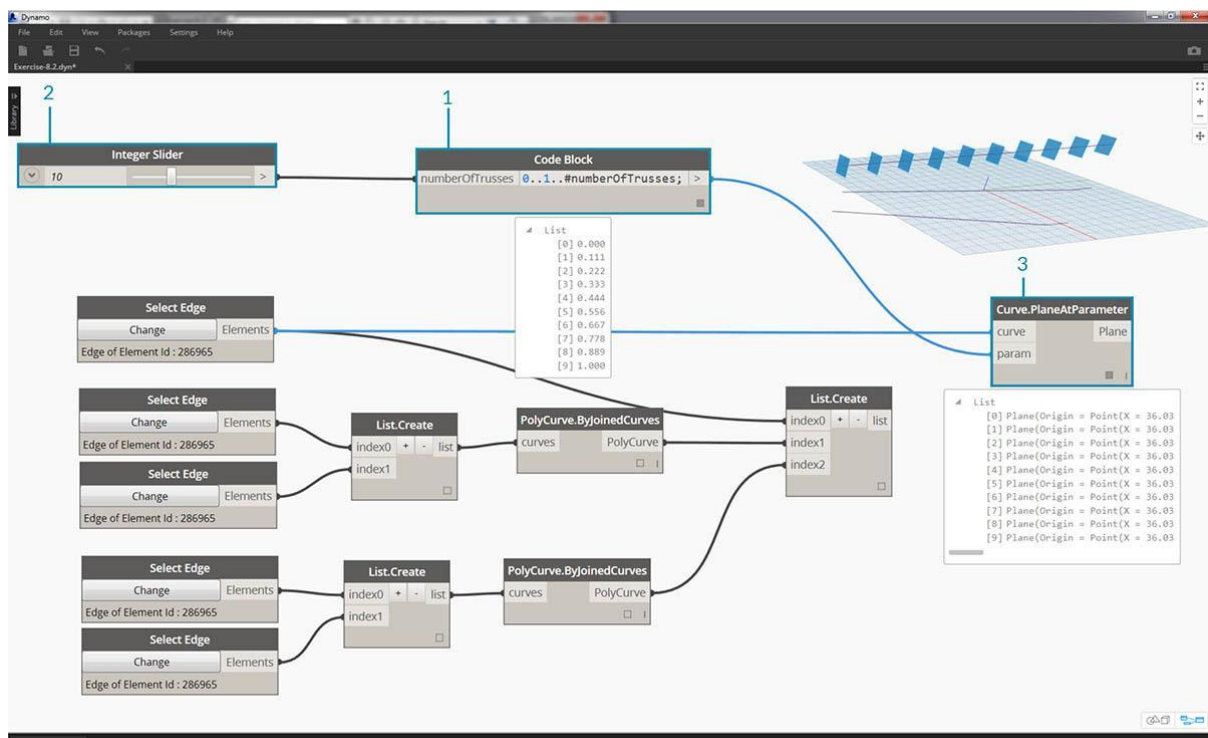
Sementara itu, Dynamo digunakan sebagai alat *visual programming* berbasis node yang terintegrasi langsung dengan Revit untuk mendukung proses *parametric design*. Dynamo memungkinkan pengguna mengembangkan algoritma desain melalui pengolahan parameter secara visual tanpa harus menggunakan pemrograman berbasis teks secara penuh. Melalui Dynamo, parameter seperti kebutuhan luas ruang, hubungan antar ruang (*adjacency*), kapasitas pengguna, dan pola sirkulasi dapat diolah secara lebih fleksibel dan sistematis dalam proses optimasi tata ruang.

Selain menggunakan sistem *visual programming*, Dynamo juga mendukung penggunaan bahasa pemrograman Python untuk mendukung proses komputasi dan pengolahan data yang

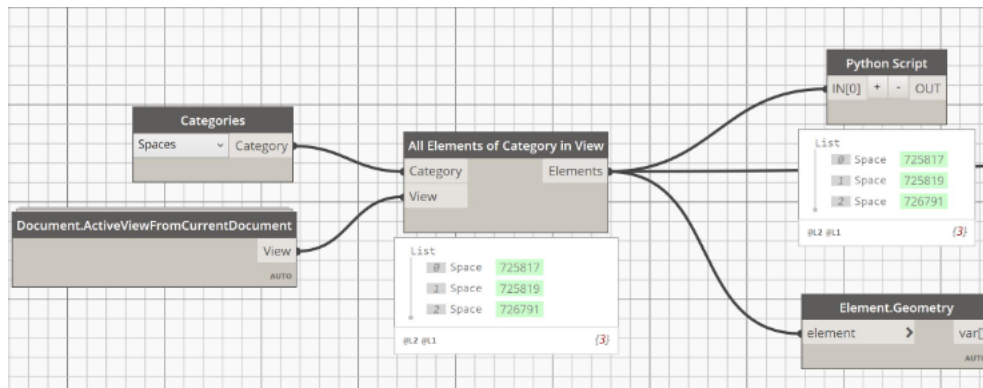
lebih kompleks. Python scripting pada Dynamo dapat digunakan untuk membaca data ruang dari Revit, menghitung luasan ruang, mengevaluasi kebutuhan kapasitas ruang, hingga mengotomatisasi proses pengolahan parameter desain. Contoh penggunaan Python Script pada Dynamo-Revit ditunjukkan pada gambar berikut.



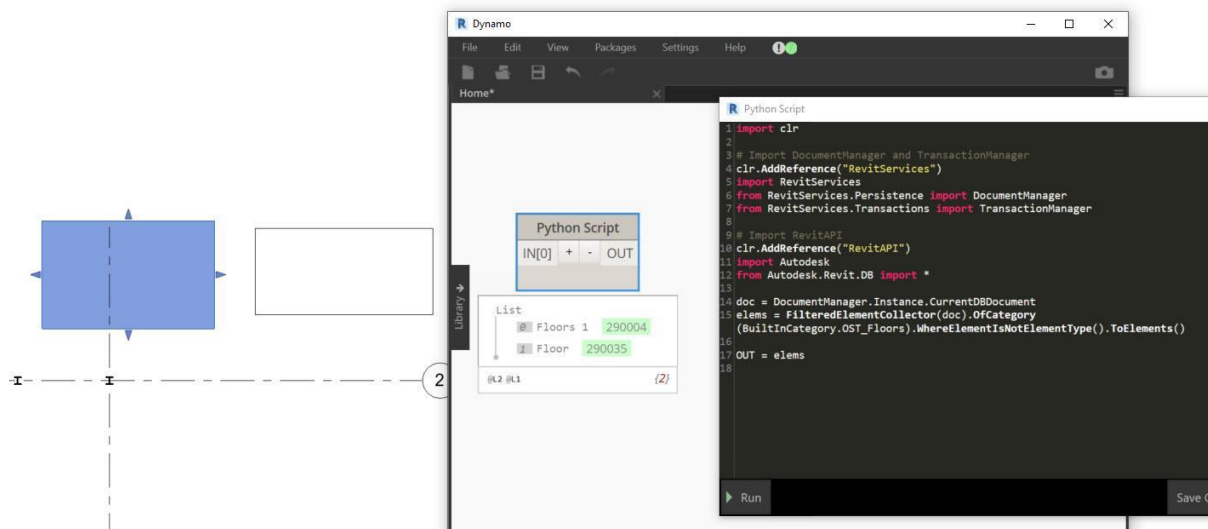
Gambar 2. 2 Alur Python Script Dynamo



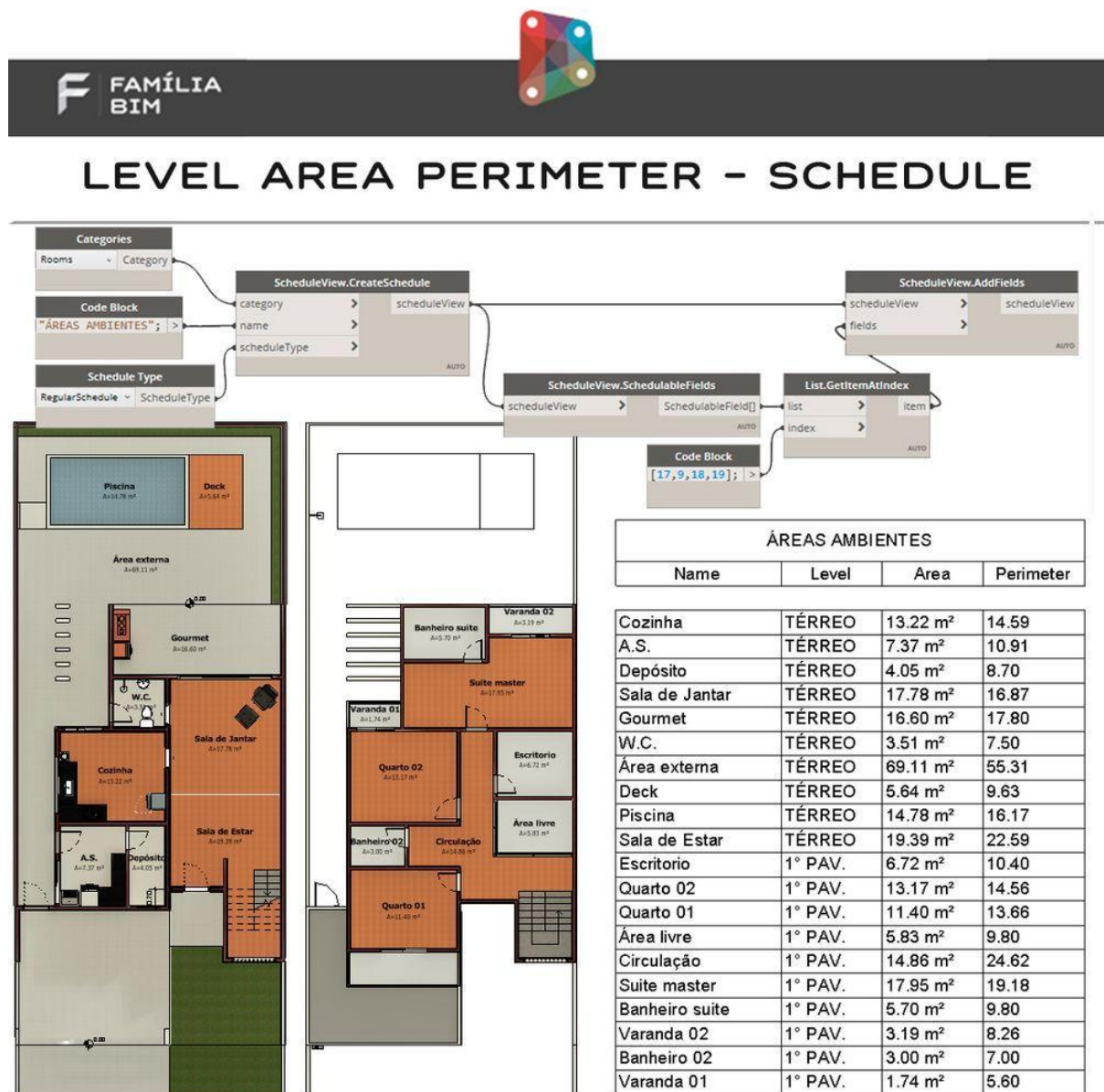
Gambar 2. 3 Running Dynamo



Gambar 2. 4 Scripting Dynamo



Gambar 2. 5 Python Script



Gambar 2. 6 Contoh Output Dynamo

Penelitian lain yang relevan dilakukan oleh (Nezamaldin, 2019) neza yang membahas penggunaan Dynamo yang terintegrasi dengan Autodesk Revit dalam proses *parametric design* dan otomatisasi Building Information Modeling (BIM). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa Dynamo mampu membantu proses pengolahan data BIM, otomatisasi pemodelan, serta pengembangan aplikasi parametrik secara lebih efisien melalui sistem *visual programming* dan Python scripting. Selain itu, penelitian tersebut menjelaskan bahwa integrasi Dynamo dan Revit memungkinkan proses analisis dan manipulasi data ruang dilakukan secara langsung pada model BIM sehingga meningkatkan efisiensi proses desain dan evaluasi bangunan.

Sejalan dengan penelitian tersebut, Taghipourarasteh (2021) menjelaskan bahwa integrasi

Autodesk Revit dan Dynamo dalam lingkungan BIM mampu mendukung proses pemodelan parametrik yang lebih cepat, akurat, dan minim kesalahan. Melalui studi kasus pemodelan elemen bangunan seperti jendela, façade, dan sunshade, penelitian tersebut menunjukkan bahwa perubahan parameter desain dapat dilakukan secara otomatis melalui algoritma parametrik sehingga meningkatkan efisiensi proses desain, memudahkan pengelolaan elemen bangunan yang berulang, serta mendukung pengambilan keputusan pada tahap awal perancangan. Selain itu, penggunaan Dynamo sebagai visual programming tool memungkinkan pengembangan variasi desain dan optimasi model bangunan secara lebih sistematis berbasis data BIM (Taghipourarasteh, 2021).

Selain itu, penelitian oleh (Tran et al., 2025) mengembangkan pendekatan BIM berbasis Autodesk Revit dan Dynamo untuk mendukung proses otomatisasi desain konseptual bangunan melalui pendekatan parametrik. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa integrasi BIM dan *parametric workflow* mampu membantu proses eksplorasi alternatif desain secara lebih sistematis dan adaptif berdasarkan parameter desain bangunan.

Penelitian lain oleh (Shishina & Sergeev, 2019) juga menjelaskan bahwa penggunaan Dynamo pada Revit mampu membantu proses otomatisasi desain dan pengembangan objek bangunan dengan bentuk dan parameter yang lebih kompleks melalui sistem *visual programming*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pendekatan parametrik berbasis Dynamo dapat meningkatkan efisiensi proses desain dibandingkan metode pemodelan konvensional.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, penggunaan BIM dan *parametric design* melalui integrasi Revit dan Dynamo menunjukkan potensi yang besar dalam mendukung proses evaluasi, otomatisasi, dan optimasi desain bangunan secara lebih sistematis dan berbasis data spasial. Namun, penerapan pendekatan tersebut pada optimalisasi tata ruang terminal penumpang pelabuhan, khususnya terkait hubungan antar ruang, kapasitas ruang, dan pola sirkulasi penumpang, masih belum banyak dikembangkan sehingga menjadi dasar dalam penelitian ini.

2.2.3 Perbandingan dan Pemilihan Software Parametric Design

Perkembangan *parametric design* dalam bidang arsitektur didukung oleh berbagai perangkat lunak yang mampu membantu proses pengolahan parameter desain dan otomatisasi pemodelan digital. Beberapa perangkat lunak yang umum digunakan dalam pendekatan parametrik antara lain Grasshopper pada Rhinoceros 3D, Dynamo pada Autodesk Revit, serta penggunaan bahasa pemrograman berbasis *script* seperti Python. Masing-masing perangkat lunak memiliki

karakteristik, metode pemrograman, dan fokus penggunaan yang berbeda dalam proses desain arsitektur.

Grasshopper merupakan perangkat *visual programming* yang terintegrasi dengan Rhinoceros 3D dan banyak digunakan dalam eksplorasi bentuk geometris serta desain parametrik berbasis geometri kompleks. Grasshopper memiliki fleksibilitas tinggi dalam proses eksplorasi bentuk dan generative design sehingga banyak digunakan dalam pengembangan desain arsitektur eksperimental dan bentuk organik. Penelitian oleh (Turrin et al., 2011) menunjukkan bahwa penggunaan Grasshopper mampu mendukung proses optimasi desain berbasis performa bangunan melalui pengolahan parameter desain dan algoritma komputasional secara sistematis.

Sementara itu, Dynamo merupakan perangkat *visual programming* yang terintegrasi langsung dengan Autodesk Revit sehingga lebih berorientasi pada pengolahan data Building Information Modeling (BIM) dan otomatisasi desain bangunan berbasis informasi spasial. Dynamo memungkinkan proses pengolahan parameter ruang, hubungan antar ruang, kapasitas ruang, serta pola sirkulasi dilakukan secara langsung pada model BIM di Revit. Selain menggunakan sistem berbasis node, Dynamo juga mendukung penggunaan Python scripting untuk mendukung proses komputasi dan manipulasi data yang lebih kompleks.

Selain Grasshopper dan Dynamo, pendekatan parametrik juga dapat dilakukan menggunakan bahasa pemrograman seperti Python. Penggunaan Python memungkinkan pengembangan algoritma desain yang lebih fleksibel dan kompleks, namun membutuhkan kemampuan pemrograman berbasis teks yang lebih tinggi dibandingkan sistem *visual programming* pada Grasshopper dan Dynamo.

Dalam penelitian ini, perangkat lunak yang digunakan adalah Autodesk Revit dan Dynamo karena memiliki integrasi langsung dengan sistem BIM serta lebih sesuai untuk proses optimasi tata ruang berbasis data spasial bangunan. Penggunaan Dynamo dipilih karena mampu mendukung proses pengolahan parameter ruang seperti kebutuhan luas ruang, hubungan antar ruang (*adjacency*), kapasitas pengguna, dan pola sirkulasi penumpang secara lebih sistematis dan terintegrasi dengan model bangunan digital pada Revit. Selain itu, pendekatan ini dinilai lebih relevan dengan fokus penelitian yang menitikberatkan pada optimalisasi tata ruang terminal penumpang dibandingkan eksplorasi bentuk geometris kompleks.