

SIMULASI SISTEM PARKIR SPASIAL BERBASIS AGEN: SEBUAH PERANCANGAN KONSEP DAN IMPLEMENTASI MODEL

Ary Arvianto*, Wiwik Budiawan, Ahmad Karami, Fachrul Rozi, Jose Daniel Marthin

Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

(Received: April 23, 2022/ Accepted: June 8, 2022)

Abstrak

Parkir dapat menimbulkan permasalahan transportasi diperkotaan. Rendahnya okupansi ruang parkir sebuah fasilitas umum juga berdampak pada kemacetan lalu lintas di sekitarnya. Studi ini berfokus pada optimalisasi ruang parkir dengan mengukur tingkat okupansinya. Mikro simulasi diterapkan untuk mendapatkan gambaran okupansi secara spasial. Oleh karena itu, pendekatan agent based digunakan untuk dapat menangkap aspek mikro terutama perilaku pengemudi dalam mencari tempat parkir. Simulasi ini menggunakan tiga skenario dalam analisis okupansinya yaitu parkir yang terjadi pada hari kerja, hari akhir minggu, dan hari raya atau masa libur panjang. Hasilnya adalah okupansi tertinggi terjadi pada skenario hari raya khususnya pada area pintu masuk, railway, dan area mesin tiket. Sementara itu, area tunnel adalah area yang paling sedikit diminati oleh pengendara dan memiliki okupansi paling sedikit. Penambahan pintu masuk dan mesin tiket di dekat area tunnel dapat meningkatkan okupansi parkir yang berarti berpotensi dapat manambah okupansi kendaraannya.

Kata kunci: transportasi; sistem parkir; simulasi; agent-based modeling

Abstract

The parking system caused urban transportation problems. The low level of parking space occupancy also impacts traffic congestion around public facilities. This study focused on optimizing parking spaces by measuring their occupancy levels. Microsimulation was applied to get a spatial picture of occupancy. Therefore, an agent-based approach captured micro aspects, particularly the driver's behavior in finding a parking space. This simulation used three scenarios in the occupancy analysis, namely parking that occurs on weekdays, weekends, and holidays (extended holidays). The result is that the highest occupancy occurs in the holiday scenario, particularly in the entrance area, railway, and ticket machine area. Meanwhile, the tunnel area is where drivers are least interested and has the least occupancy. The addition of entrances and ticket machines near the tunnel area can increase parking occupancy, which means it has the potential to increase vehicle occupancy.

Keywords: transportation; parking systems; simulation; agent-based modeling

1. Pendahuluan

Fasilitas parkir merupakan elemen penting dalam sistem transportasi perkotaan, terutama di era dimana jumlah pemilik mobil semakin meningkat. Pertumbuhan jumlah pengguna mobil menyebabkan kebutuhan fasilitas parkir semakin meningkat. Bahkan, beberapa kota besar di negara maju dan berkembang mengalami masalah sistem transportasi seperti kemacetan akibat kepemilikan mobil pribadi terus tumbuh dengan ruang parkir yang terbatas (Arvianto et al., 2021). Minimnya tempat parkir dapat menyebabkan reputasi aksesibilitas kota menjadi buruk serta

menurunkan daya tarik bagi pembeli, wisatawan, dan komuter. Selain itu, kemacetan dan masalah lingkungan (misalnya, emisi dan kebisingan) juga diakui sebagai konsekuensi dari pencarian pengemudi untuk parkir (Arnott & Rowse, 1999). Bahkan, menurut *Federal Highway Administration*, kecelakaan terkait parkir terhitung 49% dari semua kecelakaan blok tengah di sepanjang jalan utama, masing-masing 68% dan 72% di sepanjang jalan kolektor dan jalan lokal (Humphreys et al., 1978).

Untuk memenuhi permintaan parkir, pembangunan fasilitas parkir baru adalah salah satu pilihan yang dapat dilakukan oleh banyak pakar transportasi dan pembuat kebijakan. Namun, pembangunan fasilitas baru tidak selalu dapat dilakukan karena kurangnya sumber daya uang,

*Penulis Korespondensi

E-mail: aryarvi@gmail.com

manusia, waktu, dan lahan. Solusi lain yang dapat diterapkan untuk memenuhi kebutuhan parkir adalah optimalisasi penggunaan fasilitas parkir. Pendekatan ini tampaknya lebih efisien karena mengkonsumsi lebih sedikit sumber daya. Saat mengoptimalkan penggunaan fasilitas parkir, tata letak area parkir yang tepat dan efisien harus dipertimbangkan sebagai salah satu kriteria awal.

Optimalitas tersebut dapat direpresentasikan melalui tingkat okupansi parkir yang didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah lahan parkir yang digunakan dalam selang waktu tertentu dengan jumlah ruang yang tersedia. Pendekatan optimasi okupansi sistem parkir juga telah dikaji melalui beberapa studi melalui *machine learning* (Provoost et al., 2020; Saharan et al., 2020; Slavova et al., 2022) dan *deep learning* (Amato et al., 2017; Farley et al., 2021; Yang et al., 2019). Untuk memiliki desain yang tepat maka pemahaman pergerakan pengemudi mobil melintasi tempat parkir memainkan peran yang menentukan (van der Waerden et al., 2015).

Mikro-simulasi secara luas dianggap sebagai metode yang mempelajari perilaku pengemudi. Misalnya, Bonsall dan Palmer (2004) menggunakan simulator pilihan parkir PARKIT untuk memodelkan perilaku parkir mobil di luar badan jalan dari pengemudi (Bonsall & Palmer, 2004). Aplikasi simulasi mikro lainnya adalah PARKAGENT. Implementasi dari aplikasi tersebut adalah berupa model berbasis agen yang digunakan untuk mensimulasikan perilaku parkir di jalan di kota Tel Aviv (Benenson et al., 2008).

Namun, studi tersebut berfokus pada simulasi perilaku seluruh proses parkir atau pilihan fasilitas parkir tetapi belum fokus pada perilaku pergerakan pengemudi mobil yang melintasi tempat parkir. Oleh karena itu, pertanyaan penelitian atau *research question (RQ)* terkait permasalahan atau *gap* tersebut adalah:

- RQ1. Bagaimana desain konseptual model dari perilaku pergerakan pengemudi (laki-laki dan perempuan) di dalam tempat parkir?
- RQ2. Bagaimana implementasi model simulasi berbasis agen (*agent-based modeling*), khususnya pada interaksi antara pengemudi dengan tempat parkir?
- RQ3. Bagaimana tingkat okupansi tempat parkir dan skenario yang tepat untuk meningkatkan efisiensi dari okupansi tempat parkir?

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah membuat model konseptual dan mendesain simulasi berbasis agen atau *agent-based modeling (ABM)* yang mempertimbangkan perilaku pengemudi dalam mencari tempat parkir dengan berbagai macam kondisi atau faktor. Persepsi pengemudi terhadap ruang parkir akan mempengaruhi pemilihan rute jalur parkir maupun tempat parkir. Oleh karena itu, pengemudi adalah agen yang berperan sebagai *basic unit* pemodelan berbasis agen (Wilensky & Rand, 2015). Model simulasi ini dibangun melalui protokol *Overview, Design Concept, and Details (ODD)*. Selanjutnya, ODD akan digunakan sebagai kerangka

dalam merumuskan simulasi model pengukuran tingkat okupansi tempat parkir. Simulasi ini juga akan menghasilkan solusi skenario yang tepat dalam permasalahan efisiensi tempat parkir.

Diantara program simulasi mikro, simulasi pemodelan berbasis multi agen *NetLogo* telah menunjukkan keuntungannya untuk simulasi perilaku. Program ini memungkinkan penyelidikan hubungan antara perilaku tingkat mikro individu dengan pola tingkat makro yang berasal dari interaksi mereka. *NetLogo* adalah perangkat lunak *opensource* dan *powerfull*. Keunggulan ini membuat *NetLogo* menjadi *tools* simulasi berbasis agen yang menguntungkan bagi para peneliti transportasi. Meskipun *NetLogo* cukup populer dibidang lain, namun masih sedikit penerapannya pada bidang transportasi (Sklar, 2007). Oleh karena itu, studi ini fokus mengembangkan simulasi mikro pergerakan pengemudi di tempat parkir menggunakan lingkungan *NetLogo*. Model simulasi yang dikembangkan akan divalidasi menggunakan studi kasus menggunakan data penelitian sebelumnya (PJHJ et al., 2003).

2. Metode Penelitian

Overview, Design Concept, and Details (ODD)

ABM memerlukan sebuah protokol baku untuk mempermudah proses pembangunan keseluruhan simulasi. Grimm et al., (2010) menjelaskan bahwa protokol *overview, design concept and detail (ODD)* dapat digunakan untuk menstandarisasi deskripsi model berbasis individu/ agen (ABM). Tujuan utama ODD adalah membuat deskripsi model lebih mudah dimengerti dan lengkap (Sopha & Sakti, 2020).

Overview

Purpose

Simulasi ini memodelkan perilaku seluruh proses parkir atau pilihan fasilitas parkir seorang pengendara di dalam tempat parkir. Tujuannya adalah mempelajari bagaimana pergerakan pengendara dalam tempat parkir untuk mendapatkan efisiensi okupansi dan mencegah terjadinya kekurangan ruang parkir.

Entities, State Variables, and Scales

a) *Temporal dan Spatial Scales Temporal*

Satu *tick* diasumsikan merepresentasikan 1 detik dalam dunia nyata. Waktu simulasi dapat diatur dalam input dengan rentang 0 hingga 24 jam. Secara spasial, jalur parkir, ruang parkir, mesin tiket, dan mobil memiliki luasan 1 *patches* didalam *world Netlogo*.

b) *Agents, Variables, Scales, dan Initial Value*

Tabel 1 menunjukkan agen-agen yang digunakan dalam model ini. Masing-masing agen mempunyai atribut *variable*, skala dan *initial value*.

c) *Process Overview and Scheduling*

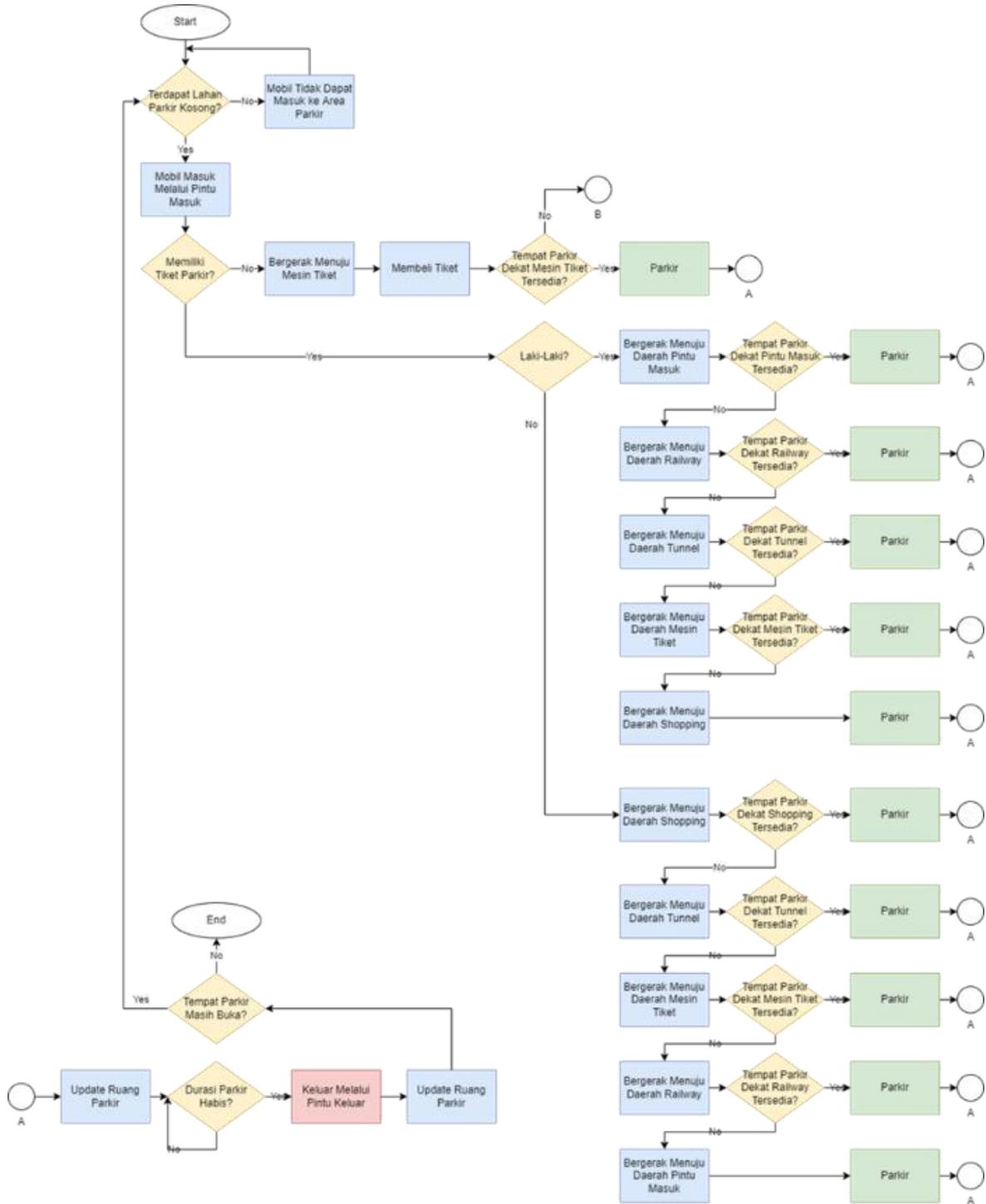
Gambar 1 merupakan *flowchart* dari simulasi parkir yang akan dijalankan.

Design Concept

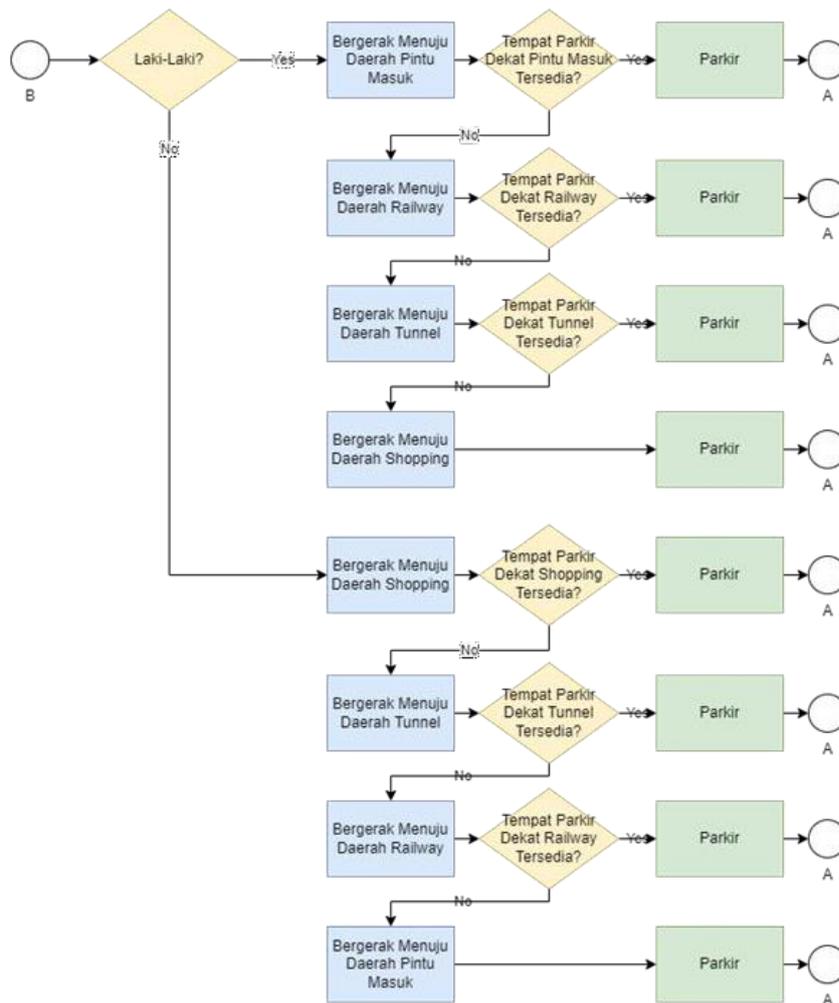
Bagian ini menjelaskan konsep-konsep desain yang akan diterapkan di dalam model simulasi parkir.

Tabel 1. Agen, Variabel, Skala dan *Initial Value*

Agen/ Individu	Variabel	Skala	Initial Value
Pengendara Mobil	Gender	Laki-laki/ Perempuan	User Input
	Kecepatan Mobil	Km/ H	0
	Memiliki Tiket	Ya/ Tidak	User Input
Ruang Parkir	Durasi Parkir	<i>Normal Distribution (Second)</i>	<i>Normal Distribution (Mean & StDev)</i>
	Ketersediaan	Ya/ Tidak (Hijau/ Merah)	Output



Gambar 1. Flowchart dari Simulasi Parkir



Gambar 1. Flowchart dari Simulasi Parkir

Basic Principle

Pemilihan rute jalur parkir akan dipengaruhi oleh empat faktor:

- a) Jarak antara jalur parkir dan tujuan akhir mempengaruhi pergerakan parkir (Bonsall & Palmer, 2004).
- b) Daya tarik parkir merupakan faktor lain dan ini mencakup tiga sub-faktor yaitu persepsi pengemudi, karakteristik jalur parkir dan *dis*-utilitas jalur parkir. (Thompson & Richardson, 1998) dan (Benenson et al., 2008).
- c) Rambu informasi dan waktu antrian di tempat parkir juga mempengaruhi proses ini (Bonsall & Palmer, 2004).
- d) Waktu tempuh rute dan waktu berjalan kaki dari jalur parkir ke tujuan yang diinginkan juga berpengaruh pada keputusan ini (Young, 1986).

Pemilihan tempat parkir juga dipengaruhi beberapa faktor:

- a) Pengemudi cenderung memilih tempat parkir yang paling dekat dengan tujuan akhir (Young, 1986).
- b) Jarak antara tempat parkir dan mesin tiket juga mempengaruhi pilihan tempat parkir (PJHJ et al., 2003). Selain jarak, jenis kelamin pengemudi merupakan faktor yang mempengaruhi kedua yaitu laki-laki lebih suka parkir lebih dekat dengan pintu masuk tempat parkir.

- c) Ukuran mobil yang besar memerlukan tempat parkir yang lebih luas sementara mobil yang lebih kecil dapat mengarahkan pengemudi untuk memilih ruang tengah atau antara dua sisi parkir. (PJHJ et al., 2003).

Emergence

Emergence dari model ini adalah pola perilaku pengendara dalam parkir dan okupansi lahan parkir.

Adaptation

Pengendara memiliki rute apabila pengendara tidak menemukan tempat parkir yang sesuai, maka pengendara akan berkeliling untuk mencari tempat parkir hingga mereka mendapatkan tempat parkir.

Objectives

Tujuan pengendara adalah memperoleh tempat parkir sesuai dengan kebutuhan dan ukuran kendaraan.

Sensing

Pengendara baru dapat mendeteksi tempat parkir yang tersedia hanya jika sudah sampai pada area yang diinginkan.

Interaction

Pengendara tidak bisa mendahului pengendara lain (harus mengantri) dan berinteraksi dengan mesin tiket

untuk membeli tiket parkir. Selanjutnya, pengendara memilih *patch* parkir yang tersedia untuk memarkir kendaraanya.

Stochasticity

Kedatangan dan lamanya kendaraan parkir bersifat random.

Observation

Model ini mengobservasi perilaku dan level okupansi ruang parkir berdasarkan kategori area yang tersedia.

Details

Initialization

Pengaturan inisialisasi simulasi dilakukan pada ketersediaan tempat parkir, jumlah mobil yang sudah dalam kondisi parkir dan lama waktu observasi. Inisialisasi agen mobil dilakukan pada variabel batas kecepatan mobil, laju kedatangan mobil, dan durasi parkir mobil. Pengaturan proporsi populasi direpresentasikan dengan persentase jenis kelamin yaitu laki-laki dan perempuan.

Input Data

Input data di dalam model ini tidak menggunakan data historis melainkan menggunakan asumsi secara logika dan pengalaman untuk menentukan skenario di dalam eksperimen yaitu hari kerja, akhir pekan, dan hari raya/ even.

Submodels

Model ini menggunakan algoritma *A-star* (Khalid et al., 2020) untuk menentukan rute terpendek. Algoritma *A-star* ini diterapkan ke agen (pengendara) untuk:

1. Menentukan rute terpendek dari pintu masuk ke mesin tiket.
2. Menentukan rute terpendek dari pintu masuk ke area yang diinginkan.
3. Menentukan rute terpendek dari mesin tiket ke area yang diinginkan.
4. Menentukan rute terpendek dari area yang diinginkan ke ruang parkir.
5. Menentukan rute terpendek dari ruang parkir ke pintu keluar.

```
;;;;;;;;;;;;;
;; SETUP JALUR PARKIR ;;
;;;;;;;;;;;;;
ask patches [set pcolor 3]

;Tunnel
ask patches with [pxcor > -1 and pxcor < 17 and pycor > 7] [set plabel "T" set area_T? True]

;Shopping
ask patches with [pxcor > -1 and pxcor < 10 and pycor < 8] [set plabel "S" set area_S? True]

;Ticket Machine
ask patches with [pxcor > 9 and pxcor < 24 and pycor < 8] [set plabel "M" set area_M? True]

;Railway
ask patches with [pxcor > 16 and pxcor < 34 and pycor > 7] [set plabel "R" set area_R? True]

;Entrance
ask patches with [pxcor > 23 and pxcor < 34 and pycor < 8] [set plabel "E" set area_E? True]
```

Gambar 2. Code Setup Jalur Parkir

3. Hasil dan Pembahasan

Implementasi model adalah tahapan translasi ke dalam model simulasi *Netlogo* yang dibangun berdasarkan protokol ODD pada sistem parkir ini. Secara garis besar implementasi model dijelaskan dalam prosedur *setup* dan *go*.

3.1 Prosedur Setup

Prosedur setup adalah prosedur yang dijalankan untuk mempersiapkan simulasi sebelum dijalankan. Berikut merupakan prosedur-prosedur yang ada *disetup*.

a) Setup jalur parkir

Prosedur ini digunakan untuk menentukan *patches* mana saja yang bertindak sebagai jalur parkir. Jalur parkir diberi warna abu-abu dan juga diberikan kategori area yang sesuai. **Gambar 2** merupakan *coding* dari *setup* jalur parkir.

b) Setup Tempat Parkir

Prosedur ini digunakan untuk menentukan *patches* mana saja yang bertindak sebagai tempat parkir. *Patches* tersebut diberi warna hijau, label, dan kategori areanya. **Gambar 3** merupakan *coding* dari *setup* tempat parkir.

c) Setup fitur parkir

Prosedur ini digunakan untuk menentukan *patches* yang menjadi fitur dalam parkir. Terdapat beberapa fitur parkir yaitu mesin tiket dan pintu keluar. Mesin tiket ditandai dengan warna kuning dan pintu keluar ditandai dengan label "exit".

d) Setup kedatangan mobil

Prosedur ini digunakan untuk membangkitkan kedatangan mobil. Terdapat dua variabel baru dalam prosedur ini yaitu *spawn tick* dan *spawn time*. *Spawn ticks* adalah seberapa lama waktu telah berjalan setelah mobil datang. *Spawn time* adalah waktu yang telah *generate* (distribusi poisson) untuk kedatangan mobil selanjutnya. **Gambar 4** merupakan *coding* dari prosedur kedatangan mobil.

```

;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
;; SETUP TEMPAT PARKIR ;;
;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;

; setup tempat parkir pinggir
let parkir-kiri patches with
[pxcor = 0 and pycor > 0 and pycor < 11]
let parkir-atas patches with
[pycor = 11 and pxcor > 0]
let parkir-bawah patches with
[pycor = 0 and pxcor > 9 and pxcor < 27]

ask parkir-kiri [set pcolor green set plabel ""]
ask parkir-atas [set pcolor green set plabel ""]
ask parkir-bawah [set pcolor green set plabel ""]

; setup tempat parkir tengah
let parkirbag1 patches with
[pycor > 2 and pycor < 5 and pxcor > 2 and pxcor < 16]
let parkirbag2 patches with
[pycor > 6 and pycor < 9 and pxcor > 2 and pxcor < 16]
let parkirbag3 patches with
[pycor > 6 and pycor < 9 and pxcor > 17 and pxcor < 32]
let parkirbag4 patches with
[pycor = 3 and pxcor > 18 and pxcor < 27]
let parkirbag5 patches with
[pycor = 4 and pxcor > 17 and pxcor < 30]

ask parkirbag1 [set pcolor green set plabel ""]
ask parkirbag2 [set pcolor green set plabel ""]
ask parkirbag3 [set pcolor green set plabel ""]
ask parkirbag4 [set pcolor green set plabel ""]
ask parkirbag5 [set pcolor green set plabel ""]

```

Gambar 3. Code Setup Tempat Parkir

```

;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
;; SETUP SPAWN MOBIL;;
;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;

set spawn-tick 999
set spawn-time (ave-rate-cars-enter * 60)

```

Gambar 4. Code Setup Kedatangan Mobil

```

to spawn-mobil-initial

let random_ticket random 100
let random_gender random 100

(ifelse
  random_ticket < pTicket and random_gender < pMale [
    sprout 1 [
      set color orange

      set park-tick 0
      set park-time random-normal (mean-pd * 60) (sd-pd * 60)

      set parked? true
    ]
  ]
  random_ticket < pTicket and random_gender >= pMale [
    sprout 1 [
      set color yellow

      set park-tick 0
      set park-time random-normal (mean-pd * 60) (sd-pd * 60)

      set parked? true
    ]
  ]
  random_ticket >= pTicket and random_gender < pMale [
    sprout 1 [
      set color blue

      set park-tick 0
      set park-time random-normal (mean-pd * 60) (sd-pd * 60)

      set parked? true
    ]
  ]
  random_ticket >= pTicket and random_gender >= pMale [
    sprout 1 [
      set color cyan

      set park-tick 0
      set park-time random-normal (mean-pd * 60) (sd-pd * 60)

      set parked? true
    ]
  ]
)

```

Gambar 5. Sub Prosedur *Spawn-Mobil-Initial*

e) *Setup* kondisi awal parkir

Prosedur ini digunakan untuk memunculkan mobil yang sudah parkir di awal simulasi. Terdapat sebuah sub-prosedur di dalam prosedur ini yaitu "*spawn-mobil-initial*". Sub-prosedur tersebut berisi kondisi untuk *generate* mobil. Prosedur ini

meminta semua *patches* dengan jumlah "*num-lot-occupied*" yang sudah diinisialisasi sebelumnya dan memiliki warna hijau untuk menjalankan sub-prosedur "*spawn-mobil-initial*". Gambar 5 merupakan coding untuk prosedur "*spawn-mobil-initial*".

```

to-report find-a-path [source-patch destination-patch]
; initialize all variables to default values
let search-done? false
let search-path []
let current-patch 0
set open []
set closed []

; add source patch in the open list
set open lput source-patch open

; loop until we reach the destination or the open list becomes empty
while [ search-done? != true]
[
  ifelse length open != 0
  [
    ; sort the patches in open list in increasing order of their f() values
    set open sort-by [[?1 ?2] -> [f] of ?1 < [f] of ?2 ] open

    ; take the first patch in the open list
    ; as the current patch (which is currently being explored (n))
    ; and remove it from the open list
    set current-patch item 0 open
    set open remove-item 0 open

    ; add the current patch to the closed list
    set closed lput current-patch closed

    ; explore the Von Neumann (left, right, top and bottom) neighbors of the current patch
    ask current-patch
    [
      ; if any of the neighbors is the destination stop the search process
      ifelse any? neighbors4 with [ (pxcor = [ pxcor ] of destination-patch) and (pycor = [pycor] of destination-patch)]
      [
        set search-done? true
      ]
      ; the neighbors should not be obstacles or already explored patches (part of the closed list)
      ask neighbors4 with [ pcolor != red and pcolor = 3 and (not member? self closed) and (self != parent-patch) ]
      [
        ; the neighbors to be explored should also not be the source or
        ; destination patches or already a part of the open list (unexplored patches list)
        if not member? self open and self != source-patch and self != destination-patch
        [

          ; add the eligible patch to the open list
          set open lput self open

          ; update the path finding variables of the eligible patch
          set parent-patch current-patch
          set g [g] of parent-patch + 1
          set h distance destination-patch
          set f (g + h)
        ]
      ]
    ]
    if self != source-patch
    0
  ]
]

; if a path is not found (search is incomplete) and the open list is exhausted
; display a user message and report an empty search path list.
]

; if a path is found (search completed) add the current patch
; (node adjacent to the destination) to the search path.
set search-path lput current-patch search-path

; trace the search path from the current patch
; all the way to the source patch using the parent patch
; variable which was set during the search for every patch that was explored
let temp first search-path
while [ temp != source-patch ]
[
  ask temp
  [
  ]
  set search-path lput [parent-patch] of temp search-path
  set temp [parent-patch] of temp
]

; add the destination patch to the front of the search path
set search-path fput destination-patch search-path

; reverse the search path so that it starts from a patch adjacent to the
; source patch and ends at the destination patch
set search-path reverse search-path

; report the search path
report search-path
end

```

Gambar 6. Implementasi Algoritma A-star

Sub prosedur pada **Gambar 5** terdiri dari beberapa kondisi yang sudah disesuaikan dengan inisialisasi, termasuk dalam hal probabilitas laki-laki atau perempuan dalam memiliki tiket. Mobil yang dimunculkan diberi warna masing-masing dan di-set variabel “parked?” menjadi true. Variabel “parked?” ini menunjukkan bahwa mobil sudah parkir.

3.2 Prosedur Go

Prosedur go berfungsi untuk meng-update kondisi simulasi seiring berjalannya ticks atau waktu. Pada awal prosedur go, ditulis perintah “tick” yaitu berguna untuk memulai jalannya waktu. Berikut

merupakan sub-prosedur yang ada di dalam prosedur go.

- a) Sub-prosedur kedatangan mobil
- b) Sub-prosedur bergerak ke mesin tiket
- c) Sub-prosedur bergerak ke area yang diinginkan pengendara
- d) Sub-prosedur bergerak ke ruang parkir
- e) Sub-prosedur bergerak keluar (exit)
- f) Sub-prosedur algoritma A-star (Shortest Path)

Dikarenakan model ini menggunakan algoritma A-star sebagai dasar dari penentuan rute. **Gambar 6** menjelaskan implementasi algoritma tersebut dalam simulasi Netlogo.

Tabel 2. Faktor Pertimbangan Skenario Kondisi Normal

Faktor Pertimbangan	Nilai	Satuan
Jumlah area parkir terisi	0	Mobil
Laju kedatangan mobil	0.25	Mobil/ Menit
Durasi parkir	90	Menit
Standar deviasi	45	%
Populasi tiket	80	%
Persentase pengendara pria	35	%

Tabel 3. Faktor Pertimbangan Skenario Akhir Pekan

Faktor Pertimbangan	Nilai	Satuan
Jumlah area parkir terisi	40	Mobil
Laju kedatangan mobil	0.5	Mobil/ Menit
Durasi parkir	240	Menit
Standar deviasi	300	%
Populasi tiket	50	%
Persentase pengendara pria	70	%

Hasil Eksperimen & Pembahasan

Analisis hasil dan eksperimen dalam simulasi ini dilakukan untuk menemukan perbedaan pola pengendara dalam memilih tempat parkir berdasarkan jenis kelamin dan kepemilikan tiket oleh pengendara. Untuk menemukan perbedaan pola pengendara maka diperlukan skenario yang akan dijalankan dalam *Netlogo* dengan mengadopsi kondisi aktualnya. Setiap simulasi memiliki faktor pertimbangan yang sama namun memiliki nilai yang berbeda. Berikut adalah beberapa skenario yang digunakan pada eksperimen kali ini.

Skenario pada Kondisi Normal

Skenario kondisi normal mewakili saat dimana kebanyakan orang sedang bekerja, khususnya karyawan. Hari kerja jatuh pada hari Senin hingga Jumat di luar hari raya atau adanya *event* khusus. Skenario ini mengasumsikan bahwa area parkir terisi saat simulasi dimulai adalah 0 karena pada hari kerja sebagian besar orang akan pergi ke kantor sejak pagi hari. Selain itu laju kedatangan mobil memiliki nilai sebesar 0,25 mobil per menit (1 mobil/ 4 menit) dan didominasi oleh pengendara perempuan dengan durasi parkir rata-rata sebesar 90 menit. Asumsi pengendara perempuan tersebut ditetapkan berdasarkan bahwa kebanyakan pria akan berada di kantor untuk bekerja sehingga kebanyakan mobil dikendarai perempuan. Tujuan utama pengendara masuk ke area parkir adalah untuk berbelanja. Laju kedatangan juga diatur cukup lama dengan persentase kepemilikan tiket langganan yang tinggi. Karena dalam hari kerja, pengunjung yang datang dinilai sedikit dan pengunjung didominasi oleh masyarakat sekitar sehingga pengendara sudah memiliki tiket parkir langganan yang dapat digunakan di area parkir. **Tabel 2** adalah rincian faktor pertimbangan untuk skenario hari kerja.

Skenario pada Akhir Pekan

Skenario akhir pekan mewakili saat dimana orang sedang libur atau tidak bekerja. Akhir pekan jatuh pada hari Sabtu dan Minggu, sehingga pada umumnya orang akan libur dalam pekerjaan dan memanfaatkan waktu untuk beristirahat maupun

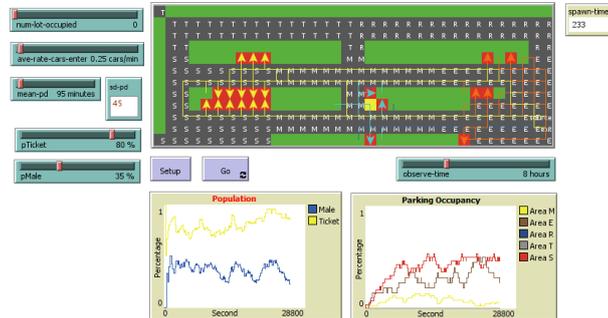
rekreasi. Skenario ini mengasumsikan bahwa area parkir terisi saat simulasi dimulai adalah 40 mobil, sebagian orang akan mengunjungi area parkir dari pagi hari untuk rekreasi. Selain itu laju kedatangan mobil memiliki nilai sebesar 0,5 mobil per menit (1 mobil/ 2 menit) dan didominasi oleh pengendara laki-laki dengan durasi parkir rata-rata sebesar 240 menit. Nilai tersebut ditetapkan karena pada akhir pekan kebanyakan pria sedang libur sehingga kebanyakan mobil dikendarai oleh pria. Pada akhir pekan, tujuan pengunjung memasuki area parkir adalah beragam sesuai dengan keinginan pengendara. Laju kedatangan juga diatur cukup cepat dengan persentase kepemilikan tiket langganan adalah sedang (50%), pengunjung yang datang dinilai cukup banyak dan sebagian pengunjung terdiri dari masyarakat sekitar dan sebagian lainnya berasal dari luar kota sehingga tidak memiliki tiket langganan. **Tabel 3** adalah rincian faktor pertimbangan untuk skenario akhir pekan.

Skenario pada Hari Raya

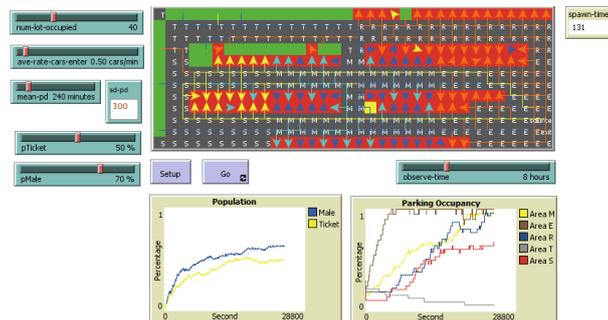
Skenario hari raya mewakili saat dimana sedang terjadi suatu kegiatan atau perayaan yang biasanya dirayakan oleh orang banyak. Hari raya merupakan hari libur yang ditetapkan pemerintah maupun acara yang diselenggarakan dalam periode waktu tertentu. Karena pada umumnya hari raya dijadikan hari libur, pada umumnya orang akan memanfaatkan waktu untuk bepergian dan mencari tempat-tempat baru untuk dikunjungi. Skenario ini mengasumsikan bahwa area parkir terisi saat simulasi dimulai adalah 50 mobil. Sebagian orang akan mengunjungi area parkir dari pagi hari untuk memaksimalkan waktu hari raya. Selain itu laju kedatangan mobil memiliki nilai sebesar 1 mobil per menit dan didominasi oleh pengendara laki-laki dengan durasi parkir rata-rata sebesar 120 menit. Nilai tersebut ditetapkan karena pengunjung umumnya adalah keluarga dan umumnya berkunjung dalam waktu relatif cepat. Laju kedatangan juga diatur cukup cepat dengan persentase kepemilikan tiket langganan yang sedikit karena pengunjung yang datang dinilai banyak berasal luar daerah. **Tabel 4** adalah rincian faktor pertimbangan untuk skenario hari raya.

Tabel 4. Faktor Pertimbangan Skenario Akhir Pekan

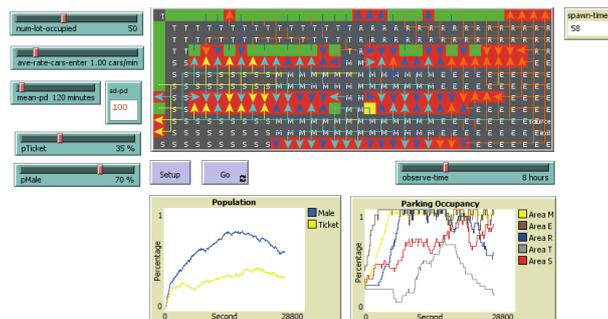
Faktor Pertimbangan	Nilai	Satuan
Jumlah area parkir terisi	50	Mobil
Laju kedatangan mobil	1	Mobil/ Menit
Durasi parkir	120	Menit
Standar deviasi	100	%
Populasi tiket	35	%
Persentase pengendara pria	70	%



Gambar 7. Hasil Simulasi Skenario Hari Kerja



Gambar 8. Simulasi pada Skenario Akhir Pekan



Gambar 9. Hasil Simulasi Skenario Hari Raya

Analisis Skenario

Berdasarkan ketiga skenario didapatkan perbedaan signifikan pada pola perilaku pengendara pada hari kerja, akhir pekan, dan hari raya. Pada skenario hari kerja, area parkir yang banyak terisi adalah area di dekat pintu masuk perbelanjaan atau *shopping* (area *S*) dan pengendara didominasi oleh perempuan. Selama simulasi berjalan, tidak ada area yang penuh dan kebanyakan area parkir tidak terpakai hingga akhir waktu pengamatan simulasi. Pengendara yang masuk sebagian besar juga sudah memiliki tiket langganan masuk sehingga pengendara yang parkir di dekat mesin tiket terlihat sedikit. **Gambar 7** adalah hasil simulasi pada hari kerja.

Pada skenario akhir pekan yang ditunjukkan pada **Gambar 8**, area parkir yang banyak terisi adalah area pintu masuk dan area *railway*. Selama simulasi

berjalan, kedua area ini mengalami kapasitas parkir penuh sehingga pengendara harus mencari area parkir lain untuk memarkirkan kendaraannya. Pada skenario ini, populasi pengendara didominasi oleh laki-laki dengan peluang memiliki tiket adalah 0,5. Banyak pengguna area parkir pada akhir pekan juga jauh lebih banyak dari pada jumlah pengguna area parkir pada hari kerja karena banyak pengguna area parkir yang berkunjung dalam waktu yang cukup lama sehingga okupansi area parkir secara berturut-turut tinggi di area pintu masuk (area *E*), dekat area mesin (area *M*), *railway* (area *R*), dan *shopping* (area *S*), hal ini juga terlihat dari garfik okupansinya.

Pada skenario hari raya yang ditunjukkan pada **Gambar 9**, populasi pengunjung laki-laki lebih banyak daripada populasi pengunjung wanita. Okupansi lahan parkir juga terlihat sangat padat, secara berurutan pada

Tabel 5. Perbandingan Okupansi Antar Skenario

No	Kategori Area	Tingkat Okupansi								
		Skenario Hari Kerja			Skenario Akhir Pekan			Skenario Hari Raya		
		Jam ke-0 (%)	Jam ke-4 (%)	Jam ke-8 (%)	Jam ke-0 (%)	Jam ke-4 (%)	Jam ke-8 (%)	Jam ke-0 (%)	Jam ke-4 (%)	Jam ke-8 (%)
1	<i>Entrance</i>	0	20	25	40	100	100	29	100	100
2	<i>Ticket Machine</i>	0	13	6	15	86	93	34	96	97
3	<i>Railway</i>	0	0	0	12	52	100	25	91	77
4	<i>Tunnel</i>	0	0	0	25	21	39	28	7	21
5	<i>Shopping</i>	0	47	39	32	48	83	20	90	69

area dekat mesin (area *M*), area pintu masuk (area *E*), dan area railway (area *R*). Ketiga area tersebut mengalami kapasitas parkir penuh akibat dari banyaknya pengguna area parkir yang masuk dan lamanya durasi parkir dari pengguna area parkir.

Perbandingan Skenario

Setelah menjalankan simulasi untuk masing-masing skenario maka didapatkan perbedaan okupansi yang terjadi untuk setiap area pada masing-masing skenario. Perbandingan okupansi dalam tiap skenario dijelaskan dalam **Tabel 5**. Berdasarkan **Tabel 5** didapatkan bahwa okupansi parkir terbesar adalah terjadi pada hari raya dengan area kepadatan tinggi berturut-turut adalah area pintu masuk (area *E*), area mesin (area *M*), dan area *railway* (area *R*). Hal ini terjadi karena kendaraan masuk ke dalam area parkir dengan interval yang singkat dibarengi dengan durasi parkir yang cukup lama. Tingginya populasi pengendara pria juga menjadi salah satu faktor yang menyebabkan okupansi area tersebut menjadi tinggi.

Okupansi paling rendah dari setiap skenario adalah area *tunnel* (area *T*). Area *tunnel* hanya terisi jika area lain sudah penuh terisi oleh pengguna area parkir yang lain. Jika diamati dari pola grafik dan perilaku pengendara, area *tunnel* akan mulai terisi jika area *shopping* mencapai kapasitas parkir penuh. Hal ini terjadi karena area *tunnel* adalah area yang paling jauh dari pintu masuk.

Solusi yang dapat diberikan agar okupansi parkir lebih merata adalah membuka pintu masuk baru di area dekat *tunnel* sehingga okupansi parkir dapat lebih merata. Selain itu, penambahan mesin tiket di area dekat *tunnel* juga dapat menjadi solusi agar okupansi area parkir dapat lebih merata. Jika kedua hal tersebut dilakukan maka kepadatan dapat dikurangi.

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan yang dapat diambil dari simulasi yang dibuat dan skenario yang dijalankan adalah perilaku pengemudi saat mencari tempat parkir dipengaruhi beberapa faktor yaitu jenis kelamin, ketersediaan tiket, dan ketersediaan lahan parkir. Pengemudi pria lebih menyukai parkir di area pintu masuk dan *railway*, sedangkan pengemudi wanita lebih menyukai parkir di area *shopping*.

Model konseptual perilaku pengendara dalam parkir direpresentasikan dengan *flowchart* melalui *process overview* dalam ODD. Protokol ODD

diterapkan sebagai standar kerangka membangun model *Netlogo*.

Kepadatan tertinggi terjadi pada skenario hari raya khususnya pada area pintu masuk, *railway*, dan area mesin tiket. Sementara itu, area *tunnel* adalah area yang paling sedikit diminati oleh pengendara dan memiliki okupansi paling sedikit. Hal ini terjadi karena area *tunnel* adalah area yang paling jauh dari pintu masuk. Selain itu penyebab rendahnya okupansi area *tunnel* adalah karena pengendara kendaraan didominasi oleh pria yang lebih menyukai parkir di dekat pintu masuk dan *railway*. Saran yang dapat diberikan adalah menambah pintu masuk di dekat *tunnel* dan atau menambahkan mesin tiket didekat area *tunnel*.

Beberapa penelitian lanjutan dapat dikembangkan dengan menambahkan kompleksitas perilaku yang mendekati sistem aktual seperti pengendara keluar jika tidak mendapatkan tempat parkir. Penambahan pola jam sibuk juga dapat dilakukan untuk pengembangan model simulasi parkir ini.

5. Daftar Pustaka

- Amato, G., Carrara, F., Falchi, F., Gennaro, C., Meghini, C., & Vairo, C. (2017). Deep learning for decentralized parking lot occupancy detection. *Expert Systems with Applications*, 72, 327–334. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.10.055>
- Arnott, R., & Rowse, J. (1999). Modeling Parking. *Journal of Urban Economics*, 45(1), 97–124. <https://econpapers.repec.org/RePEc:eee:juecon:v:45:y:1999:i:1:p:97-124>
- Arvianto, A., Sopha, B. M., Asih, A. M. S., & Imron, M. A. (2021). City logistics challenges and innovative solutions in developed and developing economies: A systematic literature review. *International Journal of Engineering Business Management*, 13, 184797902110397. <https://doi.org/10.1177/18479790211039723>
- Benenson, I., Martens, K., & Birfir, S. (2008). PARKAGENT: An agent-based model of parking in the city. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32(6), 431–439. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2008.09.011>
- Bonsall, P., & Palmer, I. (2004). Modelling drivers' car parking behaviour using data from a travel choice simulator. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 12, 321–347.

- <https://doi.org/10.1016/j.trc.2004.07.013>
- Farley, A., Ham, H., & Hendra. (2021). Real Time IP Camera Parking Occupancy Detection using Deep Learning. *Procedia Computer Science*, 179, 606–614. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.046>
- Grimm, V., Berger, U., DeAngelis, D. L., Polhill, J. G., Giske, J., & Railsback, S. F. (2010). The ODD protocol: A review and first update. *Ecological Modelling*, 221(23), 2760–2768. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.08.019>
- Humphreys, J. B., Box, P. C., Sullivan, T. D., & Wheeler, D. J. (1978). *SAFETY ASPECTS OF CURB PARKING*.
- Khalid, A., Ahmed, H., Mohamed, M., & Atef, M. (2020). *Improved Global Routing By Using A-Star Algorithm*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32240.07684>
- PJHJ, W., Borgers, A., & Timmermans, H. J. P. (2003). *Travelers Micro-Behavior at Parking Lots - A Model of Parking Choice Behavior*.
- Provoost, J. C., Kamilaris, A., Wismans, L. J. J., van der Drift, S. J., & van Keulen, M. (2020). Predicting parking occupancy via machine learning in the web of things. *Internet of Things*, 12, 100301. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100301>
- Saharan, S., Kumar, N., & Bawa, S. (2020). An efficient smart parking pricing system for smart city environment: A machine-learning based approach. *Future Generation Computer Systems*, 106, 622–640. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.01.031>
- Sklar, E. (2007). NetLogo, a Multi-agent Simulation Environment. *Artificial Life*, 13, 303–311. <https://doi.org/10.1162/artl.2007.13.3.303>
- Slavova, S., Sebastian Piest, J. P., & van Heeswijk, W. (2022). Predicting truck parking occupancy using machine learning. *Procedia Computer Science*, 201, 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.03.008>
- Sopha, B. M., & Sakti, S. (2020). *Pemodelan dan Simulasi Berbasis Agen*. Gadjah Mada University Press.
- Thompson, R. G., & Richardson, A. J. (1998). A Parking Search Model. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32(3), 159–170. <https://econpapers.repec.org/RePEc:eee:transa:v:32:y:1998:i:3:p:159-170>
- van der Waerden, P., Timmermans, H., & da Silva, A. N. R. (2015). The influence of personal and trip characteristics on habitual parking behavior. *Case Studies on Transport Policy*, 3(1), 33–36. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2014.04.001>
- Wilensky, U., & Rand, W. (2015). *An introduction to agent-based modeling* (Issue January).
- Yang, S., Ma, W., Pi, X., & Qian, S. (2019). A deep learning approach to real-time parking occupancy prediction in transportation networks incorporating multiple spatio-temporal data sources. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 107, 248–265. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.08.010>
- Young, W. (1986). PARKSIM 1 A NETWORK MODEL FOR PARKING FACILITY DESIGN. *Traffic Engineering and Control*, 27, 606–613.