

# Sebuah Tinjauan Pustaka dari Studi-Studi Terkini Tentang Sistem Manajemen Lampu Lalu Lintas Adaptif

Muhammad Sauqi Khatami  
Jurusan Informatika  
Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta  
17523142@students.uui.ac.id

Rian Adam Rajagede  
Jurusan Informatika  
Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta  
195230101@uui.ac.id

Ridho Rahmadi  
Jurusan Informatika  
Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta  
095230410@uui.ac.id

**Abstrak**—Durasi nyala lampu lalu lintas yang konstan adalah penyebab utama kurang efektifnya pengaturan lampu lalu lintas yang menyebabkan kemacetan. Seharusnya, durasi nyala lampu lalu lintas diatur sesuai dengan parameter-parameter yang ada di sebuah persimpangan lampu lalu lintas seperti kepadatan lalu lintas. Dengan ini akan didapatkan pengaturan lampu lalu lintas yang adaptif (sesuai dengan keadaan yang ada di persimpangan lampu lalu lintas). Seiring dengan berkembangnya teknologi, beberapa pihak mencoba untuk membuat sebuah sistem yang mampu mengatur lampu lalu lintas secara adaptif. Oleh karena itu, kajian pustaka ini dibuat untuk mempelajari dan menganalisis penelitian-penelitian sebelumnya yang terkait dengan permasalahan pengaturan lampu lalu lintas adaptif. Setelah mengkaji dua belas literatur terkait pengaturan lampu lalu lintas adaptif, diketahui bahwa terdapat beberapa metode yang dapat mengatur lampu lalu lintas secara adaptif beserta hasil dari masing-masing metode tersebut. Metode-metode ini antara lain adalah metode yang menggunakan alat sensor, metode-metode pemrosesan citra atau *Image Processing (Edge Detection dan Image Subtraction)* dan metode-metode kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence (seperti Support Vector Machine, Faster R-CNN dan Backpropogation)*. Di antara metode-metode ini, metode YOLO dianggap mempunyai hasil yang memuaskan (dapat mengatur lampu lalu lintas adaptif yang mampu mengurangi kemacetan lalu lintas). Selain itu, ditemukan juga bagaimana representasi kepadatan lalu lintas dalam satu ruas jalan dan data yang digunakan dalam masing-masing penelitian. Representasi kepadatan lalu lintas dapat berupa total kendaraan, luas kumpulan kendaraan, banyak objek tepi kendaraan, total titik putih pada citra, volume lalu lintas, dan panjang antrean kendaraan. Untuk data yang digunakan dapat berupa data citra atau numerik.

**Kata Kunci**—*Manajemen Lampu Lalu Lintas Adaptif, Lampu Lalu Lintas Adaptif, Kemacetan Lalu Lintas, Image Processing, Artificial Intelligence, Deep Learning, Kajian Pustaka.*

## I. PENDAHULUAN

Kemacetan lalu lintas merupakan masalah umum yang terjadi di berbagai tempat, khususnya kota-kota besar. Hal ini akan menimbulkan beberapa dampak negatif kepada pengguna jalan, seperti membuang waktu, meningkatkan tingkat stres pengguna jalan, mempercepat proses aus pada kendaraan, konsumsi bahan bakar yang semakin meningkat, dan tentunya akan mengakibatkan peningkatan polusi. Menurut TomTom Traffic Index [1], rata-rata waktu tambahan yang dihabiskan di dalam kemacetan selama tahun 2019 adalah sebesar 87 menit dan sebanyak 239 kota di berbagai belahan bumi mengalami peningkatan kemacetan semenjak tahun 2018.

Salah satu penyebab kemacetan adalah kurang efektifnya kerja lampu lalu lintas sebagai manajemen lalu lintas di suatu persimpangan. Kurang efektifnya kerja lampu lalu lintas disebabkan oleh pengaturan durasi lampu lalu lintas yang konstan. Misalnya saja, dalam satu persimpangan terdapat empat ruas jalan yang durasi waktu lampu merah dan hijau telah diatur secara konstan. Pada ruas jalan pertama, lampu merah diatur selama 90 detik dan lampu hijau selama 30 detik, begitu pula dengan ruas-ruas jalan lainnya. Hal ini dapat menyebabkan kemacetan dikarenakan pada suatu waktu, akan muncul faktor-faktor tak terduga seperti penumpukan kendaraan di salah satu ruas jalan, sedangkan pada ruas jalan lainnya sepi. Maka seharusnya waktu lampu hijau dari ruas jalan yang sepi tadi dialokasikan ke ruas jalan yang ramai. Kejadian semacam ini pernah terjadi di Jalan Raya Matraman Raya, Jakarta Timur, yang pengaturan lama lampu merahnya mencapai 180 detik dan lama lampu hijau hanya 30 detik saja, hal ini menyebabkan kemacetan sepanjang 3 kilometer [2].

Selain kemacetan, kurang efektifnya kerja lampu lalu lintas juga dapat menyebabkan kecelakaan, seperti yang dipaparkan oleh Fahmi dan Edison [3], bahwa banyaknya pemberhentian yang harus dilalui oleh pengendara dikarenakan setiap persimpangan yang dilaluinya selalu dalam status lampu merah nyala sering memicu keinginan pengendara untuk menerobos lampu lalu lintas yang kerap menimbulkan kecelakaan.

Berangkat dari permasalahan tersebut, muncullah kebutuhan akan sebuah sistem yang mampu menyesuaikan pengaturan lamanya nyala lampu hijau atau merah sesuai dengan kepadatan lalu lintas pada suatu ruas jalan (adaptif), agar mampu mengurangi tingkat kemacetan dan kecelakaan akibat kurang efektifnya kerja lampu lalu lintas (efektif).

Untuk membangun sistem pengatur lampu lalu lintas adaptif, dibutuhkan dua komponen utama yaitu informasi mengenai kepadatan lalu lintas yang akan digunakan sebagai parameter utama sebagai penentu lamanya nyala lampu merah atau hijau serta cara pengaturan lampu lalu lintas berdasarkan informasi kepadatan lalu lintas tersebut.

Kajian pustaka ini dibuat untuk mengetahui penelitian-penelitian terkait pengaturan lampu lalu lintas adaptif terdahulu. Terdapat beberapa pembahasan yang jadi fokus utama dalam kajian pustaka ini, di antaranya adalah metode yang digunakan untuk mengatur sistem manajemen lampu lalu lintas adaptif, representasi kepadatan lalu lintas, dan data yang digunakan.

Beberapa pertanyaan yang dibahas dalam kajian pustaka ini di antaranya: (a) bagaimana perkembangan pemanfaatan teknologi pemrosesan citra dan *Deep Learning* di bidang manajemen lampu lalu lintas adaptif?; dan (b) metode apa yang menghasilkan hasil terbaik (pengaturan lampu lalu lintas yang efektif)?

Analisis dan temuan akan disajikan sebagai berikut. Subbab 2 menjelaskan strategi seleksi literatur. Subbab 3 menjelaskan temuan yang diperoleh dalam penelitian-penelitian yang dikaji. Subbab 4 menjelaskan kesimpulan dari kajian pustaka ini.

## II. STRATEGI SELEKSI LITERATUR

Kajian pustaka ini ditulis dengan mengkaji literatur-literatur terdahulu yang berkaitan dengan sistem manajemen lampu lalu lintas. Terdapat beberapa kriteria dalam menyeleksi literatur yang akan dikaji, di antaranya:

### A. Portal Literatur yang Digunakan

Kajian pustaka ini ditulis dengan mengkaji literatur yang tersedia di situs Google Scholar dan Neliti.

### B. Batasan Seleksi Literatur

Literatur yang dipilih sebagai bahan kajian merupakan pustaka-pustaka dari sepuluh tahun terakhir.

### C. Kata Kunci dan Kombinasinya dalam Pencarian Literatur

Dua belas literatur yang dikaji didapatkan melalui portal literatur dengan kata kunci:

- *Traffic light management deep learning.*
- *Deep learning traffic light image.*
- *Deep learning traffic control.*
- *Deep learning citra lampu lalu lintas.*
- *Deep learning lampu lalu lintas.*
- *Traffic light optimization deep learning.*
- *Deep learning traffic light management surveillance.*
- *Traffic light management image processing.*
- *Traffic light management.*

## III. TEMUAN

### A. Gambaran Umum Literatur

Dari dua belas literatur yang dikaji, dapat diketahui bahwa penelitian-penelitian tersebut menggunakan berbagai macam alat dan metode untuk dapat menghasilkan pengaturan durasi lampu lalu lintas yang adaptif. Hasil dari penelitian ini seperti sistem pengaturan lampu lalu lintas adaptif, rancangan sistem pengaturan lampu lalu lintas adaptif, dan model pengaturan lampu lalu lintas adaptif.

### B. Metode yang Diimplementasikan

Pada sistem [4], informasi kepadatan lalu lintas diambil menggunakan sebuah perangkat keras berupa sensor inframerah. Selanjutnya perangkat keras *microcontroller* akan melakukan pengaturan lampu lalu lintas sesuai dengan kepadatan lalu lintas yang didapatkan.

Namun, A. Kanungo et al. [5] menyatakan bahwa dengan menggunakan perangkat keras semacam sensor ini, dibutuhkan perawatan konstan yang memakan biaya. Selain itu, sistem sejenis ini, lebih rentan terhadap kerusakan karena berbagai kondisi eksternal.

Berangkat dari permasalahan ini, para peneliti selanjutnya menggunakan teknologi *Image Processing* atau pemrosesan citra yang membutuhkan biaya minim. Pemrosesan citra adalah salah satu teknologi pengolahan gambar secara digital. Russ [6, p. 33] menuliskan “*By definition, image processing includes methods that begin with images (an array of pixels, each with a brightness value or "gray scale" or maybe with color information) and end with a picture*”. *Image processing* sendiri sering digunakan dalam ranah deteksi berbagai macam objek.

Selain membutuhkan biaya yang minim, Menurut V. Pandit et al. [7], masukan *vision-based* lebih berguna untuk perkiraan parameter lalu lintas. Selain itu, masukan *vision-based* dapat memberikan *qualitative description* dari kemacetan pada suatu ruas jalan dan *quantitative description* dari status lalu lintas seperti kecepatan dan banyak kendaraan. Parameter *quantitative description* dapat memberikan informasi arus lalu lintas yang lengkap.

Sistem [5] dan [7]-[10] menggunakan metode-metode dari pemrosesan citra untuk mendapatkan informasi mengenai kepadatan lalu lintas. Salah satu metode yang paling umum digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai kepadatan lalu lintas adalah metode *Edge Detection*. *Edge Detection* adalah operasi yang dijalankan untuk mendeteksi garis tepi (*edges*) yang membatasi dua wilayah citra homogen yang memiliki tingkat kecerahan yang berbeda [11].

Pada penelitian yang dilakukan V. Pandit et al. [7] dan B. Sutomo [8], *Edge Detection* digunakan untuk mendeteksi tepi kendaraan, dengan didatakannya tepi kendaraan sebagai representasi kepadatan lalu lintas, proses pengaturan lampu lalu lintas dapat dilaksanakan. Pada penelitian V. Pandit et al. [7], *Edge Detection* dilakukan dengan menggunakan operator Prewitt dengan *kernels* 3\*3 sedangkan pada penelitian B. Sutomo [8], *Edge Detection* digunakan dengan menggunakan operator Sobel dengan dua matriks konvolusi 3\*3.

Selain *Edge Detection*, metode pemrosesan citra yang biasanya digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai kepadatan lalu lintas adalah metode *Image Subtraction*. Metode *Image Subtraction* membandingkan citra yang hanya menampilkan *background (reference image)* dengan citra yang mempunyai sebuah objek di *background*-nya. Piksel dari *reference image* akan dikurangi dengan piksel dari citra yang mempunyai sebuah objek di *background*-nya. Umumnya sebelum operasi pengurangan piksel ini dilakukan, gambar akan dibuat menjadi hitam putih terlebih dahulu agar proses deteksi objek dapat dilakukan dengan lebih mudah (lebih sedikit warna dan variasi nilai piksel). Hasil dari operasi pengurangan piksel ini adalah citra yang berisi objek yang tidak ada di *reference image*. Pada penelitian yang dilakukan A. Kanungo et al. [5], *Image Subtraction* digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai kepadatan kendaraan pada suatu ruas jalan. Dari proses ini, didapatkan citra *subtracted*. Berdasarkan nilai kepadatan lalu lintas yang didapatkan, pengaturan lampu lalu lintas akan dibuat. Ruas jalan dengan nilai kepadatan lalu lintas paling tinggi akan diberikan status lampu hijau “Nyala”, sembari menghitung nilai kepadatan lalu

lintas ruas jalan lain. Siklus itu akan terus berlangsung sesuai dengan kepadatan lalu lintas.

Berikut tabel perbandingan metode-metode pemrosesan citra yang digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai kepadatan lalu lintas suatu ruas jalan beserta objek yang dideteksi dan hasil proses pemrosesan citra, dari lima literatur yang menggunakan metode pemrosesan citra.

TABEL I. PERBANDINGAN METODE PEMROSESAN CITRA

Pustaka Nomor	Metode Pemrosesan Citra	Objek yang Dideteksi	Hasil dari Proses Pemrosesan Citra
[5]	<i>Frame cropping, RGB to Black and White Conversion, dan Image Subtraction.</i>	Kumpulan kendaraan yang berdempetan (luas kepadatan kendaraan).	Citra yang berisi kumpulan kendaraan yang berdempetan di ruas jalan tersebut.
[7]	<i>RGB to Gray Conversion, Image Enhancement, dan Edge Detection (dengan operator Prewitt).</i>	Semua jenis kendaraan.	Citra yang berisi tepi setiap kendaraan yang ada di ruas jalan tersebut.
[8]	<i>Edge Detection (dengan operator Sobel).</i>	Semua jenis kendaraan.	Citra yang berisi titik-titik pada tepi setiap kendaraan yang ada di ruas jalan tersebut.
[9]	<i>RGB to Gray Conversion, Image Enhancement, dan Edge Detection.</i>	Semua jenis kendaraan.	Citra yang berisi tepi-tepi kendaraan yang ada pada suatu ruas jalan.
[10]	<i>RGB to Gray Conversion dan Image Thresholding.</i>	Semua jenis kendaraan.	Citra <i>grayscale</i> yang berisi kendaraan-kendaraan yang ada pada suatu ruas jalan.

Selain untuk mendapatkan informasi mengenai kepadatan lalu lintas di suatu ruas jalan, metode-metode pemrosesan citra juga dapat digunakan untuk mempermudah proses mendapatkan informasi mengenai kepadatan lalu lintas, seperti yang dilakukan di penelitian [7] yang menggunakan metode *Image Thresholding* untuk mempermudah proses mendapatkan informasi mengenai kepadatan lalu lintas. *Image Thresholding* adalah proses pemisahan antara objek dengan *background*. Operasi *Image Thresholding* membutuhkan sebuah nilai batas (*threshold*), yang apabila suatu piksel memiliki nilai intensitas di bawah nilai batas tersebut maka citra akan diubah menjadi putih dan sebaliknya. Hasil dari operasi ini adalah sebuah citra yang berisi warna hitam (*background*) dan putih (objek). Selain itu terdapat metode *Image Enhancement* yang digunakan untuk meningkatkan kualitas gambar seperti yang digunakan oleh sistem [7] dan [9], serta metode *RGB to Gray* dan *RGB to White and Black Conversion* yang digunakan untuk mengubah

warna citra seperti yang digunakan oleh sistem [5], [7], [9], dan [10].

Rata-rata dari penelitian yang menggunakan teknologi pemrosesan citra ini mempunyai hasil yang memuaskan. Namun, teknologi pemrosesan citra mempunyai kelemahan dalam melakukan pengaturan lampu lalu lintas adaptif. Kelemahan ini adalah kurangnya kemampuan untuk melakukan penyesuaian terhadap parameter-parameter yang ada, seperti lebar jalan dan posisi CCTV. Oleh karena itu, untuk menghadapi permasalahan ini, peneliti mulai mengembangkan sistem pengaturan lampu lalu lintas adaptif berbasis teknologi *Artificial Intelligence* atau kecerdasan buatan. Kecerdasan buatan adalah salah satu teknologi yang berusaha untuk memasukkan kecerdasan manusia ke dalam mesin dengan harapan mesin tersebut akan mampu menyelesaikan suatu masalah seefektif manusia [12]. Dengan kecerdasan buatan, proses mendapatkan informasi kepadatan lalu lintas dan pengaturan lampu lalu lintas akan dapat dilakukan dengan lebih baik, karena sistem akan lebih mampu beradaptasi kepada berbagai macam skenario yang masing-masingnya akan menghadirkan parameter-parameter baru dalam permasalahan pengaturan lampu lalu lintas.

Sistem [10] menggunakan SVM (*Support Vector Machine*) untuk mendapatkan informasi kepadatan lalu lintas dan melakukan pengaturan lampu lalu lintas. SVM adalah *classifier* yang digunakan untuk mengategorikan objek dari suatu gambar atau video [10].

Penelitian [13] menggunakan jaringan saraf *Deep Learning* untuk melakukan optimisasi arus lalu lintas dan mengurangi kemacetan di persimpangan. Jaringan ini akan memprediksi pergerakan dan volume kendaraan, yang selanjutnya dua komponen ini akan dimasukkan ke dalam persamaan untuk mendapatkan waktu nyala lampu hijau terbaik yang mampu meminimalkan kemacetan.

Penelitian [14] membangun sebuah jaringan *Backpropagation* untuk menentukan durasi nyala lampu lalu hijau berdasarkan kepadatan lalu lintas. *Backpropagation* merupakan salah satu algoritma jaringan saraf tiruan yang digunakan untuk kasus prediksi dan penentuan. *Backpropagation* terdiri dari tiga proses, yaitu proses *Feedforward*, *Backpropagation*, dan *Weight Updating* [14]. Pada penelitian [14], jaringan *Backpropagation* terdiri dari satu *input layer* yang terdiri dari empat *node*, satu *hidden layer* yang terdiri dari dua *node*, dan satu *output layer* yang terdiri dari empat *node*.

Penelitian [15] menggunakan metode *Faster R-CNN* untuk membangun model yang mampu menentukan durasi nyala lampu lalu hijau. *Faster R-CNN* merupakan turunan dari R-CNN, salah satu metode dalam *Deep Learning* yang mampu mengategorikan objek dengan menggunakan *bounding box* dalam sebuah citra [16].

Penelitian [17] menggunakan metode *Deep Reinforcement Learning*, sebuah metode kombinasi antara *Deep Learning* dan *Reinforcement Learning*. Pada metode *Deep Reinforcement Learning*, sebuah *agent* (pengambil keputusan) akan belajar untuk melakukan sesuatu melalui proses *trial* dan *error*. Pada setiap proses *trial* dan *error* sebuah *agent* akan menerima *reward* yang mengindikasikan apakah tindakan yang dilakukan *agent* itu baik atau buruk, dan dari *reward* inilah sebuah *agent* akan berusaha untuk melakukan optimasi terhadap tindakannya (*Reinforcement Learning*). Pada metode ini juga akan digunakan sebuah

arsitektur jaringan saraf tiruan untuk memproses data (*Deep Learning*) [18]. Pada sistem [17], States berupa nilai dua dimensi yang berisi posisi kendaraan dan informasi kecepatan, *actions* dimodelkan dengan proses keputusan Markov, dan *rewards* berupa perbedaan waktu tunggu kumulatif antara dua siklus.

Penelitian [19] membangun sebuah sistem *Hybrid Neural Network-based Multiagent* untuk mengatur lalu lintas suatu jaringan lalu lintas. Sistem ini menggunakan *Backpropagation* dan *Fuzzy Neural Network*. Pada sistem ini, sebuah *agent* adalah *local traffic signal controller* yang ada pada setiap persimpangan dalam sebuah jaringan lalu lintas. Setiap *agent* terdiri dari lima lapis jaringan saraf *Fuzzy* sebagai tempat terjadinya proses pengambilan keputusan.

Penelitian [20] membangun sistem pengatur lampu lalu lintas menggunakan metode YOLO (*You Only Look Once*) v2. YOLO dapat mendeteksi objek secara *real time*. Dengan ini, sistem pengatur lampu lalu lintas dapat mengatur lampu lalu lintas secara *real time*. Sistem ini membandingkan banyaknya kendaraan di setiap ruas jalan sebuah persimpangan dan menghitung durasi nyala lampu lalu lintas berdasarkan banyaknya kendaraan.

Berikut tabel perbandingan metode yang digunakan kedua belas literatur yang dikaji beserta dengan metode pengujian hasil dan hasil pengujian.

TABEL II. PERBANDINGAN METODE

Pustaka Nomor	Metode	Metode Pengujian Hasil	Hasil Pengujian
[4]	Kepadatan lalu lintas didapatkan melalui sensor inframerah yang dipasang di setiap ruas jalan, berdasarkan informasi kepadatan lalu lintas yang didapatkan tersebut, perangkat <i>microcontroller</i> akan melakukan pengaturan lampu lalu lintas.	Tidak disebutkan.	Tidak disebutkan.
[5]	<i>Frame Cropping</i> , <i>RGB to Black and White Conversion</i> , dan <i>Image Subtraction</i> .	Pengujian dilakukan dengan menghitung <i>percentage improvement</i> pada algoritma <i>hard coded</i> (durasi lampu lalu lintas ditetapkan secara manual) dan <i>dynamic coded</i> (durasi lampu lalu lintas ditetapkan secara adaptif) di berbagai macam skenario (lalu lintas normal dan padat).	Didapatkan nilai rata-rata <i>percentage improvement</i> sebesar 35%.

[7]	<i>RGB to Gray Conversion</i> , <i>Image Enhancement</i> , dan <i>Edge Detection</i> (dengan operator Prewitt).	Pengujian dilakukan dengan data video <i>real time</i> sebuah ruas jalan yang berisi kendaraan.	Semua skenario pengujian berhasil dilakukan.
[8]	<i>Edge Detection</i> (dengan operator Sobel) dan <i>Fuzzy Mamdani</i> (metode <i>Min-Max</i> ).	Pengujian menggunakan replika jalan dan mobil, dimana penyusunannya dibuat mirip dengan kondisi aslinya.	Sistem mampu bekerja sesuai dengan keadaan jalan pada jalur yang sedang diatur nya saat itu.
[9]	<i>RGB to Gray Conversion</i> , <i>Image Enhancement</i> , dan <i>Edge Detection</i> .	Tidak disebutkan.	Tidak disebutkan.
[10]	<i>RGB to Gray Conversion</i> , <i>Image Thresholding</i> , dan SVM.	Pengujian dilakukan dengan simulasi jalan yang terdiri dari replika jalan dan mainan berbentuk kendaraan.	Semua skenario pengujian pada replika jalan berhasil.
[13]	Jaringan saraf <i>Deep Learning</i> .	Membandingkan hasil <i>root mean square error</i> (RMSE) metode ini dengan model lain seperti SVM, <i>Radial Basis Function</i> dan BP <i>Neural Network</i> .	Didapatkan nilai RMSE model yang digunakan adalah 3.4507 yang merupakan nilai RMSE model yang paling rendah dibandingkan dengan model-model lainnya ( <i>Radial Basis Function</i> , <i>Random Walk</i> , <i>Support Vector Machine</i> , dan <i>BP Neural Network</i> ).
[14]	<i>Backpropagation</i> .	Pengujian fungsi aktivasi, jumlah iterasi, jumlah <i>node</i> pada <i>hidden layer</i> dan nilai <i>learning rate</i> dengan menghitung nilai RMSE paling rendah.	Berdasarkan fungsi aktivasi, jumlah iterasi, jumlah <i>node</i> pada <i>hidden layer</i> dan <i>learning rate</i> yang mempunyai nilai RMSE paling rendah, didapatkan nilai RMSE sebesar 0,0888978841028.
[15]	<i>Faster R-CNN</i> .	Pengujian dilakukan dengan simulasi jalan yang terdiri dari replika jalan dan mainan berbentuk kendaraan.	Didapatkan nilai akurasi deteksi sebesar 97,027% dan nilai eror kalkulasi sebesar 2,188%.
[17]	<i>Deep Reinforcement Learning</i> .	Pengujian dilakukan dengan menghitung rata-rata waktu tunggu melalui <i>Simulation of</i>	Model dapat mengurangi waktu tunggu rata-rata sebesar 20%.

		<i>Urban MObility (SUMO).</i>	
[19]	<i>Hybrid Neural Network-based Multiagent System.</i>	Pengujian dilakukan dengan menghitung rata-rata waktu penundaan dan rata-rata waktu penghentian setiap kendaraan melalui platform simulasi lalu lintas PARAMICS serta membandingkan hasilnya dengan sistem SPSA-NN dan GLIDE.	Sistem mampu mengurangi rata-rata waktu penundaan setiap kendaraan sebesar 78% dan rata-rata waktu penghentian setiap kendaraan sebesar 85%. Sistem <i>Hybrid NN</i> mampu mengungguli kinerja sistem GLIDE.
[20]	YOLO v2	Pengujian dilakukan dengan simulasi jalan yang terdiri dari replika jalan dan mainan berbentuk kendaraan.	Model mempunyai nilai mAP ( <i>mean average precision</i> ) lebih dari 90%.

Kebanyakan literatur yang berbasis teknologi sensor dan pemrosesan citra tidak menyebutkan hasil pengujiannya secara detail (hanya literatur [5] yang menyebutkan hasil pengujiannya secara detail). Sedangkan, untuk literatur yang berbasis teknologi kecerdasan buatan, semua literatur yang dikaji menyebutkan hasil pengujiannya secara detail.

Dari dua belas literatur yang dikaji, dapat dilihat bahwa sistem pengatur lampu lalu lintas adaptif berbasis kecerdasan buatan mempunyai hasil yang lebih jelas dan baik dibandingkan dengan sistem pengatur lampu lalu lintas yang berbasis sensor atau pemrosesan citra. Di antara metode-metode yang digunakan pada sistem berbasis kecerdasan buatan ini, metode YOLO dinilai sebagai metode yang paling cocok untuk diimplementasikan ke dalam sistem pengatur lampu lalu lintas adaptif karena kemampuannya yang dapat memproses data secara *real time* dan cepat.

### C. Representasi Kepadatan Lalu Lintas

Kepadatan lalu lintas adalah salah satu komponen utama dalam pembangunan sebuah sistem pengaturan lampu lalu lintas adaptif. Representasi kepadatan lalu lintas adalah cara atau bentuk untuk menunjukkan kepadatan lalu lintas. Dari dua belas literatur yang telah dikaji, terdapat berbagai macam representasi kepadatan lalu lintas. Berikut tabel yang memaparkan representasi kepadatan lalu lintas pada masing-masing literatur.

TABEL III. REPRESENTASI KEPADATAN LALU LINTAS DAN OUTPUT YANG DIHASILKAN SISTEM

Pustaka Nomor	Representasi Kepadatan Lalu Lintas
[4]	Banyak kendaraan yang melewati sensor inframerah dalam suatu ruas jalan.
[5]	Luas kumpulan kendaraan yang berada di dekat lampu lalu lintas suatu ruas jalan.
[7]	Banyak kendaraan (dilihat dari tepi kendaraan) dalam suatu ruas jalan.
[8]	Total titik putih pada citra.
[9]	Banyak kendaraan (dilihat dari tepi kendaraan) dalam suatu ruas jalan.

[10]	Banyak kendaraan dalam suatu ruas jalan.
[13]	Volume lalu lintas semua gerakan kecuali gerakan yang diprediksi.
[14]	Panjang antrean kendaraan.
[15]	Banyak kendaraan dalam suatu ruas jalan.
[17]	<i>Grids</i> kecil yang berisi informasi tentang posisi dan kecepatan kendaraan.
[19]	<i>Local information</i> yang diterima setiap <i>agent</i> .
[20]	Banyak kendaraan dalam suatu ruas jalan.

Dari dua belas literatur yang dikaji, terdapat beberapa representasi kepadatan lalu lintas, yaitu banyak kendaraan dalam satuan unit yang didapatkan melalui sensor, luas kumpulan kendaraan, banyaknya objek (yang merepresentasikan banyak kendaraan), total titik putih pada citra (yang merepresentasikan banyak kendaraan), panjang antrean kendaraan, dan volume lalu lintas semua gerakan. Representasi-representasi kepadatan lalu lintas ini akan digunakan sebagai parameter utama untuk mengatur lampu lalu lintas.

### D. Data

Berikut data yang digunakan oleh masing-masing literatur (yang disebutkan).

TABEL IV. DATA YANG DIGUNAKAN MASING-MASING LITERATUR

Pustaka Nomor	Data yang Digunakan
[13]	<i>Data Set Intersection Redoubt Road and Great South Road of South of Auckland.</i>
[14]	Berisi panjang antrean kendaraan pada persimpangan jalan Sukarno-hatta dan jalan Coklat, Kelurahan Lowokmaru, Kota Malang.
[15]	Berisi 153 gambar mainan berbentuk kendaraan.
[20]	<i>Traffic road situation from Seoul's Intelligent Transportation System (TOPIS)</i>

Hanya ada empat literatur yang menyebutkan *data set* yang digunakan. *Data set* pada literatur [13] dan [14] berjenis numerik dan *data set* pada literatur [15] dan [20] berjenis citra.

## IV. KESIMPULAN

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, diketahui bahwa dalam beberapa tahun terakhir kebutuhan akan sebuah sistem yang mampu mengatur lampu lalu lintas secara adaptif (sesuai dengan kepadatan lalu lintas) semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat dengan semakin banyaknya penelitian-penelitian yang membahas permasalahan ini. Dengan semakin majunya teknologi, peneliti berusaha untuk menggunakannya untuk membantu mencari solusi terbaik dari permasalahan pengaturan lampu lalu lintas ini. Mulai dari penggunaan teknologi sensor dan *microcontroller*, pemrosesan citra, dan kecerdasan buatan.

Penggunaan perangkat keras semacam sensor dan *microcontroller* untuk mengatur lampu lalu lintas dirasa masih kalah unggul dengan pengaturan lampu lalu lintas menggunakan teknologi pemrosesan citra serta kecerdasan buatan. Hal ini dikarenakan pemasangan dan pemeliharaannya yang susah dan membutuhkan biaya yang tidak murah. Oleh karena itu, peneliti mulai menggunakan teknologi pemrosesan citra, yang membutuhkan biaya minim. Metode-metode yang umumnya dipakai dari teknologi pemrosesan citra adalah *Edge Detection* (deteksi tepi) dan *Image Subtraction*.

Namun, teknologi pemrosesan citra ini juga mempunyai kelemahannya sendiri dalam pengaturan lampu lalu lintas, yaitu ketidakmampuannya untuk melakukan penyesuaian terhadap parameter-parameter yang ada, seperti lebar jalan dan posisi CCTV. Karena hal ini, para peneliti lebih merekomendasikan teknologi-teknologi kecerdasan buatan yang terkenal dengan kemampuannya untuk dapat beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya. Terdapat beberapa metode dari teknologi kecerdasan buatan yang biasanya digunakan antara lain seperti jaringan saraf tiruan (seperti *Backpropagation*), *Machine Learning* (seperti SVM), dan *Deep Learning* (seperti *Faster R-CNN*).

Dari dua belas literatur yang dikaji, dapat dilihat bahwa sistem berbasis kecerdasan buatan yang menggunakan metode YOLO mempunyai hasil yang lebih baik karena mampu menghasilkan keluaran secara *real time* dan cepat.

#### REFERENSI

- [1] TomTom Traffic Index, "TomTom Traffic Index – Live congestion statistics and historical data," 2016. [https://www.tomtom.com/en\\_gb/traffic-index/](https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/) (accessed Jun. 27, 2020).
- [2] "Lampu Merah 180 Detik Sebabkan Kemacetan Mengular di Jalan Matraman Raya." <https://megapolitan.kompas.com/read/2019/03/11/21170611/lampu-merah-180-detik-sebabkan-kemacetan-mengular-di-jalan-matraman-raya> (accessed Jul. 15, 2020).
- [3] K. Fahmi and B. Edison, "Pengaruh Traffic Light Pada Kecelakaan Lalu Lintas (Study Kasus Bundaran Gerbang Perkantoran Pemda Rokan Hulu)," vol. 2, pp. 1–9, 2012.
- [4] M. Y. Shinde and M. H. Powar, "Intelligent Traffic Light Controller Using IR Sensors for Vehicle Detection," *Iarjset*, vol. 4, no. 2, pp. 88–90, 2017, doi: 10.17148/iarjset/ncetete.2017.28.
- [5] A. Kanungo, A. Sharma, and C. Singla, "Smart traffic lights switching and traffic density calculation using video processing," 2014 Recent Adv. Eng. Comput. Sci. RA ECS 2014, no. November, 2014, doi: 10.1109/RA ECS.2014.6799542.
- [6] J. C. Russ, *Computer-Assisted Microscopy*. Springer US, 1990.
- [7] V. Pandit, J. Doshi, D. Mehta, A. Mhatre, and A. Janardhan, "Smart traffic control system using image processing," *Int. J. Emerg. Trends Technol. Comput. Sci.(IJETTCS)*, vol. 3, no. 1, pp. 280–283, 2014, [Online]. Available: <http://www.academia.edu/download/33206956/IJETTCS-2014-02-09-057.pdf>.
- [8] B. Sutomo, "Pemodelan Sistem Kontrol Traffic Light Berdasarkan Kepadatan Kendaraan Dengan Teknik Edge Detection Dan Logika Fuzzy," *J. Inform. Darmajaya*, vol. 15, no. 2, pp. 116–126, 2015.
- [9] V. Jain, Y. K. Verma, and V. K. Jain, "Automatic Traffic Light Control System By Using Digital Image Processing," vol. 8, no. 7, pp. 73–76, 2018, doi: 10.9790/9622-0807037376.
- [10] R. Soman and P. K. Radhakrishnan, "Traffic Light Control and Violation Detection Using Image Processing," vol. 08, no. 4, pp. 23–27, 2018.
- [11] M. Yunus, "Perbandingan Metode-Metode Edge Detection Untuk Proses Segementasi Citra Digital," *J. Teknol. Inf.*, vol. 3, no. 2, pp. 146–160, 2012.
- [12] "What is Artificial Intelligence? How Does AI Work? | Built In." <https://builtin.com/artificial-intelligence> (accessed Nov. 22, 2020).
- [13] S. Lawe and R. Wang, "Optimization of traffic signals using deep learning neural networks," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 9992 LNAI, no. December 2016, pp. 403–415, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-50127-7\_35.
- [14] S. A. Azizy, I. Cholissodin, and E. Santoso, "Penentuan Durasi Nyala Lampu Lalu Lintas Berdasarkan Panjang Antrian Kendaraan Menggunakan Metode Backpropagation," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 9, pp. 2948–2956, 2018, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>.
- [15] A. M. Ma'ali and A. Hendriyawan, "Rancang Bangun Sistem Pengendali Lampu Lalu Lintas Berdasarkan Pengenalan Citra Digital Kendaraan Menggunakan Metode Faster R-Cnn," 2019.
- [16] "Region Based Convolutional Neural Networks - Wikipedia." [https://en.wikipedia.org/wiki/Region\\_Based\\_Convolutional\\_Neural\\_Networks](https://en.wikipedia.org/wiki/Region_Based_Convolutional_Neural_Networks) (accessed Nov. 22, 2020).
- [17] X. Liang, X. Du, G. Wang, and Z. Han, "Deep Reinforcement Learning for Traffic Light Control in Vehicular Networks," vol. XX, no. Xx, pp. 1–11, 2018, doi: 10.1109/TVT.2018.2890726.
- [18] "Deep reinforcement learning - Wikipedia." [https://en.wikipedia.org/wiki/Deep\\_reinforcement\\_learning](https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_reinforcement_learning) (accessed Nov. 22, 2020).
- [19] D. Srinivasan, M. C. Choy, and R. L. Cheu, "Neural networks for real-time traffic signal control," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 7, no. 3, pp. 261–272, 2006, doi: 10.1109/TITS.2006.874716.
- [20] S. D. Kim, "Situation-cognitive traffic light control based on object detection using YOLO algorithm," *Int. J. Comput. Vis. Robot.*, vol. 10, no. 2, pp. 133–142, 2020, doi: 10.1504/IJCVR.2020.105682.