

ARTIKEL ILMIAH

**EVALUASI KINERJA SIMPANG BERSINYAL SEBELUM DAN SESUDAH
PEMASANGAN *INTELLIGENT TRAFFIC CONTROL SYSTEM* (ITCS)
(Studi Kasus: Simpang Bersinyal Dasan Cermen Kota Mataram)**

*Performance Evaluation of Signalized Intersection Before and After the Installation
of Intelligent Traffic Control System (ITCS)
(Case Study: Dasan Cermen Signalized Intersection in Mataram City)*



Oleh:

MAYA MASITA

F1A 018 063

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MATARAM**

2023

ARTIKEL ILMIAH

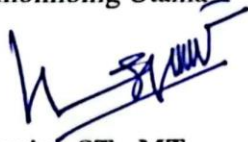
**EVALUASI KINERJA SIMPANG BERSINYAL SEBELUM DAN SESUDAH
PEMASANGAN *INTELLIGENT TRAFFIC CONTROL SYSTEM* (ITCS)
(Studi Kasus: Simpang Bersinyal Dasan Cermen Kota Mataram)**

Oleh :

**Maya Masita
F1A018063**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

1. Pembimbing Utama



Hasyim, ST., MT.
NIP : 196512311995121001

Tanggal : 8 , November 2023

2. Pembimbing Pendamping



Rohani, ST., MT.
NIP : 196712311995122001

Tanggal : 8 , November 2023

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Hariyadi, ST., M.Sc.(Eng), Dr.Eng.
NIP : 197310271998021001

ARTIKEL ILMIAH

**EVALUASI KINERJA SIMPANG BERSINYAL SEBELUM DAN SESUDAH
PEMASANGAN *INTELLIGENT TRAFFIC CONTROL SYSTEM* (ITCS)
(Studi Kasus: Simpang Bersinyal Dasan Cermen Kota Mataram)**

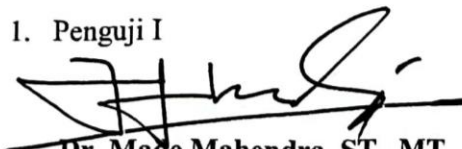
Oleh :

**Maya Masita
F1A018063**

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji
Pada Tanggal 30 Oktober 2023
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat


Susunan Tim Penguji:

1. Penguji I


Dr. Made Mahendra, ST., MT
NIP : 196606261994121001


Tanggal : 9, November 2023

2. Penguji II


IAO Suwati Sideman, ST., MSc.
NIP : 196910111997022002

Tanggal : 13, November 2023

3. Panguji III


Desi Widianty, ST., MT.
NIP : 197101011998022001

Tanggal : 9, November 2023

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Muhamad Syamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D.
NIP : 197202221999031002

EVALUASI KINERJA SIMPANG BERSINYAL SEBELUM DAN SESUDAH PEMASANGAN *INTELLIGENT TRAFFIC CONTROL SYSTEM* (ITCS) (Studi Kasus: Simpang Bersinyal Dasan Cermen Kota Mataram)

Maya Masita¹, Hasyim², Rohani²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

ABSTRAK

Persimpangan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari semua sistem jalan, sebab persimpangan merupakan tempat bertemu dan berganti arah lalu lintas dari dua jalan atau lebih. Di Indonesia persimpangan yang dikendalikan dengan lampu lalu yang sudah ada masih perlu dikembangkan agar dapat memenuhi kebutuhan para pengendara, dimana dibutuhkannya sistem yang efisien sebagai upaya penertiban arus lalu lintas. Untuk meningkatkan efisiensi dan optimasi kinerja persimpangan adalah dengan menggunakan *Intelligent Traffic Control System* (ITCS). Persimpangan di Kota Mataram yang telah dipasang perangkat ITCS dan masih beroperasi yakni persimpangan Dasan Cermen.

Dalam penelitian ini bertujuan mengetahui kinerja Simpang Bersinyal Dasan Cermen Kota Mataram pada kondisi sebelum dan sesudah diterapkan *Intelligent Traffic Control System* (ITCS). Metode yang digunakan untuk menganalisa kinerja simpang adalah Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997.

Dari hasil penelitian menunjukkan jam puncak terjadi pada hari Rabu, pukul 06.30 - 07.30 WITA dengan volume lalu lintas sebesar 2320 smp/jam. Kinerja simpang sebelum pemasangan ITCS didapatkan nilai derajat kejenuhan (DS) rata-rata sebesar 1,273, tundaan (D) rata-rata simpang 732,222 det/smp dan panjang antrian (QL) rata-rata sebesar 399,004 m. Kinerja simpang sesudah pemasangan ITCS didapatkan nilai derajat kejenuhan (DS) rata-rata sebesar 1,271, tundaan (D) rata-rata simpang 646,771 det/smp dan panjang antrian (QL) rata-rata sebesar 381,919 m. Setelah pemasangan ITCS terdapat peningkatan kinerja simpang berdasarkan derajat kejenuhan (DS) 0,2%, tundaan (D) 10,6% dan panjang antrian (QL) 4,3%.

Kata Kunci : ITCS, derajat kejenuhan, panjang antrian dan tundaan

EVALUASI KINERJA SIMPANG BERSINYAL SEBELUM DAN SESUDAH PEMASANGAN *INTELLIGENT TRAFFIC CONTROL SYSTEM* (ITCS) (Studi Kasus: Simpang Bersinyal Dasan Cermen Kota Mataram)

Maya Masita¹, Hasyim², Rohani²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

ABSTRACT

Intersections are an integral part of all road systems because they are where traffic from two or more roads converges and changes direction. In Indonesia, intersections controlled by existing traffic lights still require development to meet the needs of drivers. There is a need for an efficient traffic management system to regulate traffic flow. An Intelligent Traffic Control System (ITCS) is employed to enhance intersection efficiency and performance optimization. In Mataram City, the intersection of Dasan Cermen has been equipped with the ITCS, which is still operational.

This research aims to assess the performance of the Dasan Cermen Signalized Intersection in Mataram before and after the implementation of the Intelligent Traffic Control System (ITCS). The methodology used to analyze intersection performance is the Manual of Indonesian Road Capacity (MKJI) 1997.

The research findings indicate that peak hours occur on Wednesdays, from 06:30 to 07:30 WITA, with a traffic volume of 2320 pcu/h. The performance of the intersection before the installation of ITCS showed an average degree of saturation (DS) of 1.273, an average intersection delay (D) of 732.222 seconds/pcu, and an average queue length (QL) of 399.004 meters. After the installation of ITCS, the intersection's performance improved, with an average DS of 1.271, an average intersection delay of 646.771 seconds/pcu, and an average queue length of 381.919 meters. Following the ITCS installation, there was an increase in intersection performance, with a decrease in DS by 0.2%, a reduction in intersection delay by 10.6%, and a decline in queue length by 4.3%.

Keywords: ITCS, degree of saturation, queue length and delay

PENDAHULUAN

LATAR BELAKANG

Persimpangan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari semua sistem jalan, sebab persimpangan merupakan tempat bertemu dan berganti arah lalu lintas dari dua jalan atau lebih. Persimpangan merupakan tempat terjadinya suatu konflik antara kendaraan dengan kendaraan lainnya ataupun antara kendaraan dengan pejalan kaki. Pada persimpangan terjadi sebagian besar pertemuan kendaraan dan pejalan kaki, yang selalu menyebabkan tundaan, kecelakaan, dan kemacetan. Setiap persimpangan mencakup pergerakan lalu lintas dengan arus menerus, arus belok kiri dan kanan, dan arus saling memotong. Pergerakan lalu lintas ini dikendalikan dengan berbagai cara tergantung pada jenis persimpangan itu sendiri. Persimpangan yang dikendalikan dengan lampu lalu lintas tujuannya untuk menghindari atau mengurangi terjadinya kecelakaan, tundaan, dan meningkatkan kapasitas dari persimpangan jalan tersebut.

Alat Pemberi Syarat Lalu Lintas (APILL) yang biasa disebut lampu lalu lintas adalah lampu yang dapat mengatur arus lalu lintas di sebuah persimpangan jalan. Di Indonesia penerapan lampu lalu lintas yang sudah ada masih perlu dikembangkan agar dapat memenuhi kebutuhan para pengendara, dimana dibutuhkan sistem yang efisien sebagai upaya penertiban arus lalu lintas. Tidak praktis dan tidak optimalnya kinerja persimpangan akan menimbulkan permasalahan. Karena itu, pengaturan kinerja persimpangan dan pemakaian sinyal yang optimal sangat diperlukan untuk mengatur arus lalu lintas agar tidak terjadi permasalahan pada persimpangan-persimpangan yang ada pada kota-kota besar maupun yang sedang mengalami perkembangan. Berkembang pesatnya pertumbuhan kota, tingkat pergerakan manusia, serta ruang lingkup kehidupan yang ditandai dengan bertambahnya jumlah penduduk, kendaraan, penghasilan, dan tenaga

kerja. Sehingga menimbulkan peningkatan permintaan terhadap mode transportasi. Keragaman transportasi yang semakin meningkat, tidak diimbangi dengan perluasan jalan atau fasilitas dan kesadaran masyarakat dalam tertib berlalu lintas menambah permasalahan lalu lintas disuatu daerah.

Kota Mataram, ibukota Nusa Tenggara Barat menjadi salah satu pusat kota dengan segala aktifitasnya, meningkatnya perekonomian di Kota Mataram, peningkatan kendaraan umum maupun pribadipun tidak dapat dihindari lagi. Hal ini berdampak pada timbulnya problematika transportasi yang berupa kemacetan, tundaan, dan antrian. Dalam catatan Direktorat Lalu Lintas Polda NTB, setidaknya setiap bulan rata-rata 1.800 unit sepeda motor baru dan 200 unit mobil, masuk dan beroperasi di NTB. Sebagian besar di Kota Mataram. Ini membuktikan bahwa setiap harinya, arus lalu lintas di kota Mataram semakin padat. Untuk menanggulangi masalah tersebut, perlu pengaturan lalu lintas lebih lanjut agar dapat memenuhi kebutuhan pengguna jalan yang semakin meningkat. Cara untuk mengurangi kepadatan lalu lintas adalah dengan adanya lampu lalu lintas. Namun dalam beberapa kondisi, lampu lalu lintas kurang efisien untuk menangani masalah tersebut.

Sebagai solusi untuk meningkatkan efisiensi dan optimasi kinerja persimpangan adalah dengan menggunakan *Intelligent Traffic Control System (ITCS)*. *Intelligent Traffic Control System (ITCS)* atau sistem pengendalian lalu lintas cerdas dan ditujukan untuk membantu mengurangi kemacetan di persimpangan lampu merah. Dengan diterapkannya ITCS, penentuan waktu siklus lampu persimpangan dapat diubah berkali-kali dalam satu hari sesuai kebutuhan lalu lintas paling efisien yang mencakup keseluruhan wilayah tersebut.

Persimpangan di Kota Mataram yang telah dipasang perangkat ITCS dan masih beroperasi yakni persimpangan Dasan Cermen.

Persimpangan Dasan Cermen merupakan persimpangan bersinyal lengan empat yang terletak di pusat Kota Mataram, mempertemukan ruas Jl. Lingkar Selatan, Jl. TGH. Saleh Hambali, Jl. TGH. Lopan dan Jl. Prabu Rangkasari. Pertemuan arus kendaraan dari keempat ruas jalan mengakibatkan volume kendaraan yang melintas tinggi dan banyak dilewati oleh kendaraan berat mengingat ruas jalan pada persimpangan ini merupakan jalan nasional sehingga sering terjadi antrian panjang yang membuat pengendara terkena sinyal merah lebih dari satu kali. Maka berdasarkan pemasangan alat ITCS pada persimpangan Dasan Cermen Kota Mataram, maka perlu dilakukan kajian kembali mengenai perbandingan evaluasi kinerja persimpangan bersinyal sebelum dan sesudah pemasangan alat ITCS. Dari analisa ini akan mendapatkan hasil apakah dengan pemasangan alat ITCS merupakan solusi yang tepat menanggulangi kemacetan dan kepadatan kendaraan pada persimpangan tersebut.

RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan sebelumnya, maka dapat diambil rumusan masalah dalam penelitian, yaitu :

1. Bagaimana kinerja pada Simpang Bersinyal Dasan Cermen Kota Mataram sebelum diterapkan *Intelligent Traffic Control System* (ITCS) berdasarkan derajat kejenuhan (DS), tundaan (D) dan panjang antrian (QL)?
2. Bagaimana kinerja Simpang Bersinyal Dasan Cermen Kota Mataram setelah diterapkan *Intelligent Traffic Control System* (ITCS) berdasarkan derajat kejenuhan (DS), tundaan (D) dan panjang antrian (QL)?
3. Apakah *Intelligent Traffic Control System* (ITCS) memberikan dampak terhadap peningkatan kinerja Simpang Bersinyal Dasan Cermen Kota Mataram berdasarkan derajat kejenuhan (DS), tundaan (D) dan panjang antrian (QL)?

TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah :

- 1) Mengetahui kinerja Simpang Bersinyal Dasan Cermen Kota Mataram pada kondisi sebelum diterapkan *Intelligent Traffic Control System* (ITCS) berdasarkan derajat kejenuhan (DS), tundaan (D) dan panjang antrian (QL).
- 2) Mengetahui kinerja Simpang Bersinyal Dasan Cermen Kota Mataram setelah diterapkan *Intelligent Traffic Control System* (ITCS) berdasarkan derajat kejenuhan (DS), tundaan (D) dan panjang antrian (QL).
- 3) Mengetahui presentase peningkatan kinerja Simpang Bersinyal Dasan Cermen Kota Mataram berdasarkan derajat kejenuhan (DS), tundaan (D) dan panjang antrian (QL).

DASAR TEORI

TINJAUAN PUSTAKA

Samuel dkk (2019) melakukan penelitian dengan judul “Evaluasi Penerapan *Area Traffic Control System* (ATCS) Pada Simpang Bersinyal (Studi Kasus: Persimpangan Teling)”. Data volume arus lalu lintas diambil selama 3 hari yaitu hari Senin, Rabu, dan Sabtu dari jam 07.00 - 19.00 WITA. Penelitian ini bertujuan menganalisa kinerja simpang pada kondisi eksisting serta melakukan evaluasi penerapan ATCS pada kinerja simpang bersinyal. Metode yang digunakan untuk menganalisa kinerja simpang adalah Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Dari hasil penelitian menunjukkan jam sibuk persimpangan terjadi pada jam 15.00 - 16.00 ditandai dengan derajat kejenuhan (DS) pada pendekatan Teling = 0,85, pendekatan Toar = 0,73, pendekatan Diponegoro = 1,07 dan pendekatan Tikala = 1,19. Rata-rata nilai DS persimpangan = 0,96. Nilai DS pada pendekatan Tikala dan pendekatan Diponegoro telah melebihi 1, yang menandakan kapasitas pendekatan sudah tidak mampu melayani arus lalu lintas dengan optimal. Nilai tundaan untuk

pendekat Teling = 59,22 det/smp, untuk pendekat Toar = 70,3 det/smp, untuk pendekat Diponegoro = 257,67 det/smp, dan untuk pendekat Tikala = 491,27 dengan tundaan rata-rata persimpangan = 97,1 det/smp sehingga didapat tingkat pelayanan kelas F (LOS F). Dari hasil evaluasi perhitungan kinerja simpang, dapat dilihat bahwa penerapan ATCS belum memberikan dampak pada peningkatan kinerja simpang bersinyal. Dengan melakukan perubahan waktu siklus $c = 177$ det, terjadi peningkatan kinerja persimpangan dilihat dari rata-rata nilai DS persimpangan = 0,90. Terjadi penurunan pada tundaan rata-rata persimpangan yang tadinya 97,1 det/smp turun menjadi 56,4 det/smp. Dengan waktu siklus alternatif terjadi perbaikan tingkat pelayanan persimpangan dari LOS F menjadi LOS E.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Fauziah dkk (2022) yang berjudul “Perencanaan *Area Traffic Control Sistem* (ATCS) Untuk Optimasi Kinerja Persimpangan Pada Jalan H.M. Joyo Martono Kota Bekasi”. Adapun data yang diambil adalah data geometrik, waktu sinyal, volume lalu lintas, dan kecepatan arus lalu lintas. Analisa kinerja simpang bersinyal ini menggunakan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 untuk perhitungan derajat kejenuhan, tundaan dan Panjang antrian. Hasil survey diketahui bahwa persimpangan Jalan HM. Joyo Martono belum optimal. Dari perencanaan Panjang siklus sebesar 224 detik, kondisi eksisting rata – rata simpang menunjukkan kinerja yang mendekati jenuh. Setelah dilakukan perencanaan waktu siklus baru yang berdasar teori koordinasi, didapat Derajat Kejenuhan (DS) sebesar 0.379, Tundaan Simpang (*Delay*) 131527.73 smp/detik dan Panjang antrian (QL) sebesar 260.098 m. Sehingga kondisi sesudah penerapan ATCS dikoordinasi lebih baik dibandingkan kondisi ekisting pada saat sebelum penerapan ATCS didapat penghematan waktu tundaan sebesar 71.642 smp/detik.

Ganjar dkk (2017) yang berjudul “Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal Pada Jalan Raya Darmo Dan Jalan Dr. Sutomo – Jalan Polisi Istimewa, Sebelum Dan Sesudah Pemasangan Alat ATCS-ITS”. Pada kondisi sebelum pemasangan alat ATCS-ITS, tahun 2013 tingkat pelayanan Level of Service pada simpang bersinyal Jl. Raya Darmo dan Jl. Dr. Soetomo – Jl. Polisi Istimewa Surabaya pada puncak jam pagi diperoleh tundaan simpang rata-rata 212,85 detik/smp, pada puncak jam siang diperoleh tundaan simpang rata-rata 213,88 detik/smp, dan untuk puncak jam sore diperoleh tundaan simpang rata-rata 492,43 detik/smp. Setelah pemasangan alat ATCS-ITS pada puncak jam pagi diperoleh tundaan simpang rata-rata 125,20 detik/smp, pada puncak jam siang diperoleh tundaan simpang rata-rata 353,31 detik/smp, dan untuk puncak jam sore diperoleh tundaan simpang rata-rata 399,99 detik/smp.

LANDASAN TEORI

Definisi Persimpangan

Simpang merupakan daerah pertemuan dua atau lebih ruas jalan, bergabung, berpotongan atau bersilang. Persimpangan dapat juga disebut sebagai pertemuan antara dua jalan atau lebih, baik sebidang maupun tidak sebidang atau titik jaringan jalan dimana jalan-jalan bertemu dan lintasan jalan saling berpotongan (Morlok, 1991).

Persimpangan Bersinyal

Menurut MKJI 1997, Simpang-simpang bersinyal yang merupakan bagian dari sistem kendali waktu tetap yang dirangkai atau sinyal aktuasi kendaraan terisolir, biasanya memerlukan metoda dan perangkat lunak khusus dalam analisisnya.

Berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI, 1997), tujuan dari penggunaan sinyal lampu lalu lintas (traffic light) pada persimpangan antara lain:

- a. Untuk menghindari kemacetan simpang akibat adanya konflik arus lalu-lintas, sehingga terjamin bahwa suatu kapasitas

tertentu dapat dipertahankan, bahkan selama kondisi lalu-lintas jam puncak.

- b. Untuk memberi kesempatan kepada kendaraan dan/atau pejalan kaki dari jalan simpang (kecil) untuk memotong jalan utama.
- c. Untuk mengurangi jumlah kecelakaan lalu-lintas akibat tabrakan

Arus Jenuh Dasar (S_0)

Arus jenuh dasar merupakan banyaknya keberangkatan antrian di dalam pendekat selama kondisi ideal (smp/jam hijau) (Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997). Untuk pendekat tipe P:

$$S_0 = 600 \times W_e \text{ (smp/jam hijau)}$$

dimana:

$$S_0 = \text{Arus jenuh dasar (smp/jam hijau)}$$

$$W_e = \text{Lebar pendekat efektif (m)}$$

Arus Jenuh (S)

Arus jenuh (S) adalah besarnya keberangkatan antrian dalam suatu pendekat selama kondisi yang ditentukan. Arus jenuh dapat ditentukan sebagai hasil anatar arus jenuh awal (S_0) dari kondisi standard dan faktor koreksi (F) untuk penyimpangan dari keadaan sebenarnya pada kondisi sebelum ditentukan.

$$S = S_0 \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_P \times F_{RT} \times F_{LT} \text{ (smp/jam)}$$

Dimana:

$$S = \text{Arus jenuh (smp/waktu hijau efektif)}$$

$$S_0 = \text{Arus jenuh dasar (smp/waktu hijau efektif)}$$

$$F_{CS} = \text{Faktor koreksi arus jenuh akibat ukuran kota (jumlah penduduk)}$$

$$F_{SF} = \text{Faktor koreksi arus jenuh akibat adanya gangguan samping}$$

$$F_G = \text{Faktor koreksi arus jenuh akibat kelandaian jalan}$$

$$F_P = \text{Faktor koreksi arus jenuh akibat adanya kegiatan perparkiran dekat dengan lengan persimpangan}$$

$$F_{LT} = \text{Faktor koreksi arus jenuh akibat adanya pergerakan belok kiri}$$

$$F_{RT} = \text{Faktor koreksi arus jenuh akibat adanya pergerakan belok kanan}$$

Waktu Siklus dan Waktu Hijau

Waktu siklus untuk sebelum penyesuaian (C_{ua}) untuk pengendalian waktu tetap.

$$C_{ua} = \frac{(1,5 \times LTI + 5)}{(1 - IFR)}$$

Dimana:

$$C_{ua} = \text{Panjang Siklus (detik)}$$

$$LTI = \text{Jumlah waktu yang hilang setiap siklus (detik)}$$

$$IFR = \text{Rasio arus smpang } \sum(FR_{crit})$$

Waktu hijau adalah waktu nyala hijau dalam suatu pendekat. Perhitungan waktu hijau untuk tiap fase dijelaskan dengan rumus:

$$g_i = (C_{ua} - LTI) \times PR_i \geq 10 \text{ dtk}$$

Dimana:

$$G_i = \text{Tampilan waktu hijau pada fase i (detik)}$$

$$C_{ua} = \text{Waktu siklus sebelum penyesuaian (detik)}$$

$$LTI = \text{Waktu hilang total persiklus (detik)}$$

$$PR_i = \text{Rasio fase} = FR_{crit} / \sum(FR_{crit})$$

Waktu hijau yang lebih pendek dari 10 detik harus dihindari, karena dapat mengakibatkan pelanggaran lampu merah yang berlebihan dan kesulitan bagi pejalan kaki untuk menyeberang jalan.

Waktu siklus yang disesuaikan (c) berdasarkan pada waktu hijau dan waktu hilang (LTI) yang diperoleh dan telah dibulatkan, $c = \sum g + LTI$ (det).

Kapasitas

Kapasitas adalah kemampuan simpang untuk menampung arus lalu lintas maksimum per satuan waktu dinyatakan dalam smp/jam hijau. Kapasitas (C) dari masing-masing pendekat adalah:

$$C = S \times \frac{g}{c}$$

Dimana:

$$C = \text{Kapasitas (smp/jam hijau)}$$

$$S = \text{Arus jenuh (smp/jam hijau)}$$

$$G = \text{Waktu hijau (detik)}$$

$$c = \text{Panjang siklus (detik)}$$

Derajat Kejenuhan (DS)

Derajat Kejenuhan didefinisikan sebagai rasio volume (Q) terhadap kapasitas (C). Rumus untuk menghitung derajat kejenuhan adalah:

$$DS = \frac{Q}{C}$$

Dimana :

- DS = Derajat Kejenuhan
- Q = Arus lalu lintas (smp/jam)
- C = Kapasitas (smp/jam)

Panjang Antrian (NQ)

Panjang antrian adalah banyaknya kendaraan yang berada pada simpang tiap jalur saat nyala lampu merah (MKJI, 1997). Rumus untuk menentukan rata-rata panjang antrian berdasarkan MKJI 1997, adalah:

Untuk menghitung jumlah antrian yang tersisa dari fase hijau sebelumnya digunakan hasil perhitungan derajat kejenuhan yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (MKJI, 1997).

Untuk derajat kejenuhan (DS) > 0.5:

$$NQ_1 = 0,25 \times C \left[(DS - 1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 \times (DS - 0,5)}{C}} \right]$$

Untuk DS < 0,5 ; NQ1 = 0

Dimana:

- NQ₁ = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya
- DS = Derajat kejenuhan
- C = Kapasitas (smp/jam) = arus jenuh dikalikan rasio hijau (S×GR)

Jumlah antrian smp yang datang selama fase merah (NQ₂), dihitung dengan persamaan

$$NQ_2 = c \times \frac{1 - GR}{1 - GR \times DS} \times \frac{Q_{masuk}}{3600}$$

Dimana:

- NQ₂ = Jumlah smp yang datang pada fase merah.
- GR = Rasio hijau (g/c)
- c = Waktu siklus (detik)
- Q_{masuk} = Arus lalu lintas yang masuk diluar LTOR (smp/jam)
- DS = Derajat kejenuhan

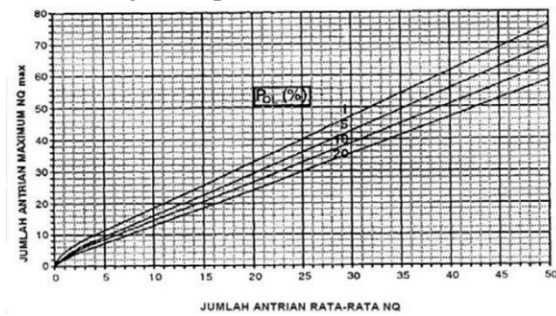
Sehingga jumlah kendaraan antri, dihitung dengan persamaan:

$$NQ = NQ_1 + NQ_2$$

Dimana:

- NQ = Jumlah kendaraan antri
- NQ₁ = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya
- NQ₂ = Jumlah smp yang datang selama fase merah

Nilai NQ perlu untuk disesuaikan dalam hal peluang yang diinginkan untuk terjadinya pembebanan lebih POL (%). Untuk perancangan dan perencanaan disarankan POL < 5 %, untuk operasi suatu nilai POL = 5 % - 10 % mungkin dapat diterima.



Gambar 1 Perhitungan Jumlah Antrian (NQ_{MAX}) Dalam smp

Panjang antrian (QL) pada masing-masing kaki persimpangan digunakan rumus sebagai berikut:

$$QL = \frac{(NQ_{max} \times 20)}{W_{masuk}}$$

dimana:

- QL = Panjang antrian (m)
- NQ_{MAX} = jumlah antrian yang disesuaikan
- 20 = asumsi luas rata-rata yang dipergunakan per smp
- W_{MASUK} = lebar pendekat masuk

Kendaraan Terhenti

Angka henti (NS) masing-masing pendekat yang didefinisikan sebagai jumlah rata-rata kendaraan berhenti per smp, ini termasuk henti berulang sebelum melewati garis henti simpang. Angka henti dapat dihitung dengan rumus:

$$NS = 0,9 \times \frac{NQ}{Q \cdot c} \times 3600$$

Dimana:

C = Waktu siklus (detik)

Q = Arus lalu lintas (smp/jam)

Tundaan

Tundaan Lalu Lintas (DT)

Tundaan lalu lintas (DT) yaitu akibat interaksi antar lalu lintas pada simpang dengan faktor luar seperti kemacetan pada hilir (pintu keluar) dan pengaturan manual oleh polisi, dengan rumus:

$$DT = c \times A + \frac{NQ_1 \times 3600}{C}$$

Dimana:

$$A = \frac{0,5 \times (1 - GR)}{(1 - GR \times DS)}$$

Dimana:

DT = Tundaan lalu-lintas rata-rata (det/smp)

A = Konstanta

C = Kapasitas (smp/jam),

DS = Derajat kejenuhan,

GR = Rasio hijau (g/c) (detik),

NQ₁ = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya,

c = Waktu siklus yang disesuaikan (det).

Tundaan Geometri (DG)

Tundaan geometrik (DG) adalah tundaan akibat perlambatan atau percepatan pada simpang atau akibat terhenti karena lampu merah.

$$DG_j = (1 - P_{SV}) \times P_T \times 6 + (P_{SV} \times 4)$$

Dimana:

P_T = Rasio kendaraan berbelok pada pendekatan

P_{SV} = Rasio kendaraan berhenti pada pendekatan = Min(NS, 1)

DG_j = Tundaan geometrik rata-rata pendekatan (detik/smp)

Tundaan rata-rata untuk suatu pendekat dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$D = DT + DG$$

Dimana:

D = Tundaan rata-rata pendekat j (detik/smp)

DT = Tundaan lalu lintas rata-rata pendekat (detik/smp)

DG = Tundaan geometrik rata-rata pendekat (detik/smp)

Tundaan rata-rata dapat digunakan sebagai indikator tingkat pelayanan dari masing-masing pendekat demikian juga dari suatu simpang secara keseluruhan.

Tabel 1 Tingkat Pelayanan

Tingkat Pelayanan	Tundaan (det/smp)	Load Factor	Ket
A	≤ 5,0	0	Baik Sekali
B	5,1-15,0	≤ 0,1	Baik
C	15,1-25,0	≤ 0,3	Sedang
D	25,1-40,0	≤ 0,7	Kurang
E	40,1-60,0	≤ 1,0	Buruk
F	≥ 60,0	NA	Buruk Sekali

(Sumber: Permenhub No.14 Tahun 2006)

ATCS (Area Traffic Control System)

Area Traffic Control System (ATCS) merupakan sistem pengendalian simpang lalu lintas jalan raya dengan menggunakan lampu lalu lintas dimana pengaturan lampu lalu lintas pada masing-masing simpang saling terkoordinasi, sehingga pengguna jalan mendapatkan tundaan yang minimum. Dengan penerapan ATCS atau lampu lalu lintas terkoordinasi maka akan terjadi efisiensi pergerakan dan akan meningkatkan kapasitas simpang untuk melayani lalu lintas, waktu perjalanan yang lebih pendek, penurunan tingkat resiko kecelakaan bagi pengendara dan kesempatan juga keselamatan yang lebih tinggi bagi pejalan kaki/penyeberang jalan serta kenyamanan pengguna jalan yang lebih baik. ATCS sangat baik diterapkan pada persimpangan yang mempunyai banyak titik konflik pergerakan lalu lintas dan volume lalu lintas yang cukup tinggi (Wishnukoro, 2008).

ATCS (*Area Traffic Control System*) memiliki beberapa fungsi, diantaranya adalah :

1. Dapat mengatur waktu sinyal di persimpangan sehingga penggunaan jalan mendapatkan tundaan minimum.
2. Memberikan prioritas lampu hijau di persimpangan.
3. Dalam keadaan tertentu, memberikan lampu hijau pada kendaraan yang memiliki prioritas seperti ambulans, pemadam kebakaran dan lainnya.
4. Menyampaikan informasi kondisi lalu lintas dan alternatif lintasan.

Menyediakan rekaman data lalu lintas, kejadian kecelakaan, dan kejadian yang lainnya di persimpangan.

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penelitian

Simpang Dasan Cermen adalah simpang bersinyal lengan empat yang mempertemukan ruas Jl. Lingkar Selatan, Jl. TGH. Saleh Hambali, Jl. TGH. Lopan dan Jl. Prabu Rangkasari letaknya berada di kawasan Kota Mataram.

Pengumpulan Data

Dalam melaksanakan studi kasus, diperlukan survei untuk memperoleh yang akan digunakan dalam analisa. Data-data yang diperlukan meliputi :

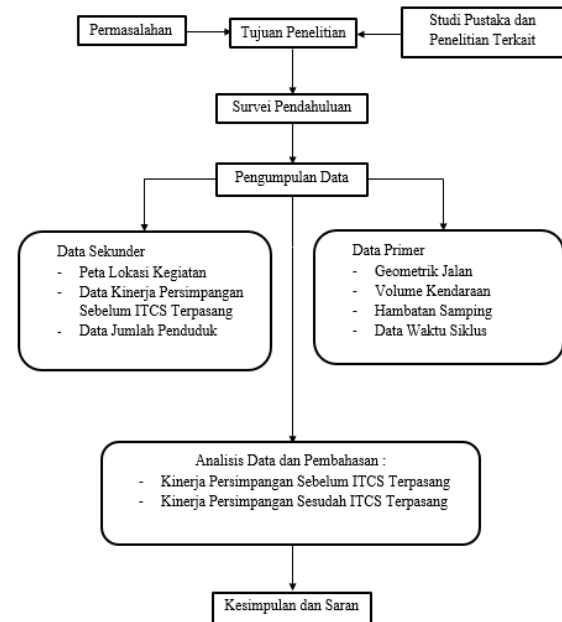
- 1) Data primer, yang meliputi:
 - a. Data volume lalu lintas
 - b. Data sinyal lampu isyarat lalu lintas
 - c. Data geometrik
 - d. Data hambatan samping
- 2) Data Sekunder, yang meliputi:
 - a. Data sebelum pemasangan ITCS
 - b. Peta lokasi jalan, dan
 - c. Data jumlah penduduk.

Waktu Pengumpulan Data

Pengamatan arus lalu lintas dilaksanakan pada saat jam sibuk. Berikut ini adalah waktu yang ditetapkan untuk melaksanakan pengamatan:

1. Pagi , pukul 06.30-08.30 WITA
2. Siang, pukul 12.00-14.00 WITA
3. Sore, pukul 16.00-18.00 WITA

Bagan Alir Penelitian



Gambar 2 Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil dalam penelitian ini merupakan hasil dari metode survei yang telah dilakukan. Survei yang telah dilakukan meliputi survei volume lalu lintas, survei fase lampu dan hambatan samping. Survei dilakukan selama 3 hari yaitu hari Senin, Rabu dan Sabtu. pada jam 06.30-08.30 WITA untuk jam pagi, 12.00-14.00 WITA untuk jam siang dan 16.00-18.00 WITA untuk waktu sore.

Analisis dan Pembahasan

a. Geometrik Persimpangan

Tabel 2 Data Geometrik Simpang Dasan Cermen

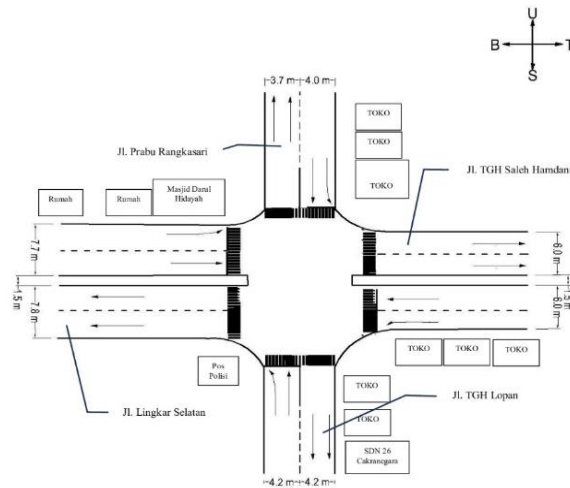
Nama Jalan	Pendekat (m)		
	Lebar Pendekat	Lebar Masuk	Lebar Keluar
TGH Lopan	4,2	4,2	4,2
Prabu Rangkasari	4	4	3,7
TGH Saleh Hambali	6	6	6
Lingkar Selatan	7,7	7,7	7,8

(Sumber: Hasil Survei Lapangan)

Tabel 3 Data Lingkungan Simpang Dasan Cermen

Nama Jalan	Kondisi Lingkungan	Median	LTOR
TGH Lopan	Komersial	Tidak	Tidak
Prabu Rangkasari	Komersial	Tidak	Tidak
TGH Saleh Hambali	Komersial	Ya	Tidak
Lingkar Selatan	Pemukiman	Ya	Tidak

(Sumber: Hasil Survei Lapangan)



Gambar 3 Geometrik Simpang Dasan Cermen

b. Hasil Survei Hambatan Samping

Hambatan samping pada jalan TGH Lopan didapatkan hambatan samping tertinggi yaitu pada hari Sabtu pukul 06.30-07.30 dengan total kejadian mencapai 291 kejadian/jam. Pada jalan Prabu Rangkasari hambatan samping tertinggi terjadi pada hari senin pada pukul 12.15-13.15 dengan total kejadian mencapai 270,3 kejadian/jam. Pada jalan TGH Saleh Hambali hambatan samping tertinggi terjadi pada hari Rabu pada pukul 07.30-08.30 dengan total kejadian mencapai 180,3 kejadian/jam. Dan pada jalan Lingkar Selatan hambatan samping tertinggi terjadi pada hari Sabtu pada pukul 12.00-13.00 dengan total kejadian mencapai 220,2 kejadian/jam. Bobot kejadian antara 100 dan 299 digolongkan sebagai kelas hambatan samping rendah. Berdasarkan hasil tabel diatas menunjukkan hambatan samping yaitu jalan TGH Lopan, Prabu Rangkasari, TGH Saleh Hambali dan Lingkar Selatan adalah rendah.

c. Hasil Survei Volume Berdasarkan Jam Puncak

Dari hasil survei lapangan, volume lalu lintas yang diperoleh data tertinggi pada persimpangan Dasan Cermen adalah hari Rabu, 15 Maret 2023 yaitu pada pukul 06.30 – 07.30 WITA sebesar 2320 smp/jam.

Tabel 4 Volume Lalu Lintas Pada Kaki Persimpangan

TOTAL VOLUME SIMPANG PER JAM (SMP/JAM)					
Senin, 13 Maret 2023					
Waktu	Pendekat				Total (smp/jam)
	Barat	Timur	Selatan	Utara	
06.30-07.30	475	543	675	613.1	2306.1
07.30-08.30	424.3	456.8	732.8	495.8	2109.7
12.00-13.00	370.3	397.3	520.4	518.8	1806.8
13.00-14.00	393.8	461.3	615.1	501.4	1971.6
16.00-17.00	435	488.2	693.8	654.1	2271.1
17.00-18.00	571.3	507.5	596.8	622.7	2298.3
Rabu, 15 Maret 2023					
Waktu	Pendekat				Total (smp/jam)
	Barat	Timur	Selatan	Utara	
06.30-07.30	450	580	690	600	2320
07.30-08.30	352.4	509.5	586.1	499.9	1947.9
12.00-13.00	383.2	401.7	527.1	559	1871
13.00-14.00	399.9	339.3	558	543.4	1840.6
16.00-17.00	428.9	416.8	663.3	660	2169
17.00-18.00	339.7	457.7	554.9	634.7	1987
Sabtu, 18 Maret 2023					
Waktu	Pendekat				Total (smp/jam)
	Barat	Timur	Selatan	Utara	
06.30-07.30	422.5	429	699.6	490.9	2042
07.30-08.30	397.8	442.7	617.7	472.4	1930.6
12.00-13.00	421.8	500.7	577.6	578.8	2078.9
13.00-14.00	467.7	435.1	576.7	548.3	2027.8
16.00-17.00	580.5	376.9	545.9	650.8	2154.1
17.00-18.00	569.7	410.1	487.8	637	2104.6

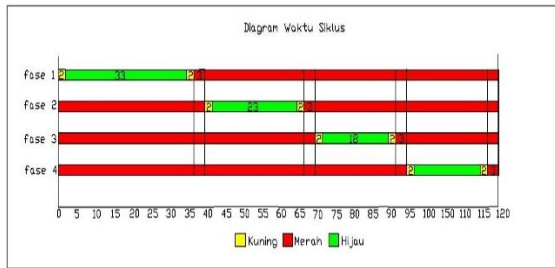
(Sumber: Analisa Data,2023)

Fase dan Waktu Siklus

Tabel 5 Kondisi Persinyalan Dan Tipe Pendekat

Kondisi Eksisting Layer Display							
Sinyal	Lengan	Tipe Pendekat	Waktu (detik)				
			Merah	Kuning	Hijau	All Red	
Fase 1	Utara	Terlindung (P)	80	2	33	2	3
Fase 2	Selatan	Terlindung (P)	90	2	23	2	3
Fase 3	Barat	Terlindung (P)	95	2	18	2	3
Fase 4	Timur	Terlindung (P)	95	2	18	2	3
Waktu Siklus					120		

(Sumber: Hasil Survei Lapangan)



Gambar 4 Diagram Waktu Siklus Kondisi Eksisting Simpang Dasan Cermen

d. Perbandingan Kinerja Simpang Pada Kondisi Sebelum dan Sesudah Pemasangan ITCS (*Intelligent Traffic Control System*)

Tabel 6 Nilai Kapasitas Simpang Dasan Cermen Sebelum dan Sesudah Pemasangan ITCS

Capasitas (C) (smp/jam)		
Tipe Pendekat	Sebelum Terpasang ITCS	Sesudah Terpasang ITCS
Barat	681.957	543.568
Timur	463.202	418.363
Selatan	342.612	397.396
Utara	487.669	529.902

(Sumber: Analisa Data,2023)

Tabel 7 Nilai Derajat Kejenuhan Simpang Dasan Cermen Sebelum dan Sesudah Pemasangan ITCS

Derajat Kejenuhan (DS)		
Tipe Pendekat	Sebelum Terpasang ITCS	Sesudah Terpasang ITCS
Barat	0.652	0.828
Timur	1.245	1.386
Selatan	1.988	1.736
Utara	1.206	1.132

(Sumber: Analisa Data,2023)

Tabel 8 Nilai Jumlah Kendaraan Antri Simpang Dasan Cermen Sebelum dan Sesudah Pemasangan ITCS

Jumlah Kendaraan Antri (NQ) (smp)		
Tipe Pendekat	Sebelum Terpasang ITCS	Sesudah Terpasang ITCS
Barat	12.750	16.391
Timur	78.121	103.799
Selatan	197.188	175.827
Utara	72.701	60.367

(Sumber: Analisa Data,2023)

Tabel 9 Nilai Panjang Antrian Kendaraan Simpang Dasan Cermen Sebelum dan Sesudah Pemasangan ITCS

Panjang Antrian (QL) (m)		
Tipe Pendekat	Sebelum Terpasang ITCS	Sesudah Terpasang ITCS
Barat	33.117	42.573
Timur	260.403	345.996
Selatan	938.990	837.272
Utara	363.504	301.836

(Sumber: Analisa Data,2023)

Tabel 10 Nilai Angka Kendaraan Henti Simpang Dasan Cermen Sebelum dan Sesudah Pemasangan ITCS

Angka Kendaraan Henti (NSV) (smp/jam)		
Tipe Pendekat	Sebelum Terpasang ITCS	Sesudah Terpasang ITCS
Barat	378.995	442.547
Timur	2322.125	2802.568
Selatan	5861.368	4747.334
Utara	2161.016	1629.915
Kendaraan Terhenti Rata-rata (det/smp)	4.682	4.148

(Sumber: Analisa Data,2023)

Tabel 11 Nilai Tundaan Simpang Dasan Cermen Sebelum dan Sesudah Pemasangan ITCS

Tundaan (D) (det/smp)		
Tipe Pendekat	Sebelum Terpasang ITCS	Sesudah Terpasang ITCS
Barat	45.261	65.594
Timur	522.141	782.799
Selatan	1876.712	1417.263
Utara	448.776	321.426

(Sumber: Analisa Data,2023)

Tabel 12 Perbandingan Nilai Parameter Kinerja Simpang Dasan Cermen

Simpang	Simpang Dasan Cermen (Sebelum Terpasang ITCS)	Simpang Dasan Cermen (Setelah Terpasang ITCS)
Kapasitas (smp/jam)	493.860	472.307
Derajat Kejenuhan (DS)	1.273	1.271
Jumlah Kendaraan Antri (NQ) (smp)	90.190	89.096
Panjang Antrian (QL) (m)	399.004	381.919
Angka Kendaraan Henti (Nsv) (smp/jam)	2680.876	2405.591
Tundaan (D) (det/smp)	723.222	646.771
Tingkat Pelayanan (LOS)	F	F

(Sumber: Analisa Data,2023)

1. Kapasitas

Nilai kapasitas rata-rata Simpang Dasan Cermen yang diperoleh dari perhitungan MKJI 1997 untuk kondisi sebelum pemasangan ITCS dengan waktu siklus 109 detik adalah 493,860 smp/jam. Sedangkan nilai kapasitas rata-rata simpang untuk kondisi eksisting dengan penggunaan waktu siklus simpang selama 120 detik diperoleh nilai kapasitas sebesar 472,307 smp/jam. Dari nilai kapasitas tersebut menunjukkan bahwa kapasitas simpang Dasan Cermen lebih besar sebelum pemasangan ITCS. Perubahan waktu siklus memberikan pengaruh pada kinerja simpang ditandai dengan meningkatnya atau menurunnya kapasitas (C).

2. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan (DS) didapatkan dari nilai perbandingan antara arus lalu lintas dengan besar kapasitas. Berdasarkan hasil analisa data untuk nilai derajat kejenuhan Simpang Dasan Cermen sebelum adanya pemasangan ITCS dengan waktu siklus selama 109 detik, didapatkan hasil untuk pendekatan Lingkar Selatan = 0,652, untuk pendekatan THG Saleh Hambali = 1,245, untuk pendekatan TGH Lopan = 1,998, dan untuk pendekatan Prabu Rangkasari = 1,206. Kondisi setelah pemasangan ITCS dengan penggunaan waktu siklus 120 detik didapatkan nilai DS pendekatan Lingkar Selatan = 0,828, pendekatan TGH Saleh Hambali = 1,386, pendekatan TGH Lopan = 1,736 dan Prabu Rangkasari = 1,132. Derajat

kejenuhan rata-rata simpang untuk kondisi sebelum pemasangan ITCS adalah 1,273. Sedangkan derajat kejenuhan rata-rata simpang untuk kondisi eksisting adalah 1,271. Nilai derajat kejenuhan pendekatan TGH Saleh Hambali, TGH Lopan dan Prabu Rangkasari diketahui telah melewati 1. Hal ini menandakan bahwa simpang tersebut berada di atas ambang jenuh sehingga kondisi persimpangan yang sudah tidak mampu melayani arus lalu lintas dengan optimal yang dapat menyebabkan antrian panjang pada situasi lalu lintas puncak.

3. Panjang Antrian

Panjang antrian rata-rata Simpang Dasan Cermen untuk kondisi sebelum pemasangan ITCS dengan waktu siklus selama 109 detik adalah 399,004 m. Sedangkan panjang antrian rata-rata simpang untuk kondisi eksisting dengan penggunaan waktu siklus 120 detik adalah 381,919 m. Pemasangan *Intelligent Traffic Control System* (ITCS) di Simpang Dasan Cermen di Mataram telah menghasilkan perbaikan, terutama dalam mengurangi panjang antrian.

4. Kendaraan Henti

Kendaraan henti rata-rata pada simpang sebelum pemasangan ITCS lebih besar dibandingkan sesudah pemasangan ITCS. Sebelum pemasangan yaitu sebesar 2680,876 smp/jam, sedangkan sesudah pemasangan ITCS yaitu sebesar 2405,591 smp/jam.

5. Tundaan

Pada kondisi sebelum pemasangan ITCS tahun 2018 berdasarkan hasil analisa data untuk nilai tundaan Simpang Dasan Cermen sebelum adanya pemasangan ITCS dengan waktu siklus selama 109 detik, didapatkan hasil untuk pendekat Lingkar Selatan = 45,261 det/smp, untuk pendekat THG Saleh Hambali = 522,141 det/smp, untuk pendekat TGH Lopan = 1876,712 det/smp, dan untuk pendekat Prabu Rangkasari = 448,776 det/smp. Kondisi setelah pemasangan ITCS didapatkan nilai tundaan pendekat Lingkar Selatan = 65,594 det/smp, pendekat TGH Saleh Hambali = 782,799 det/smp, pendekat TGH Lopan = 1417,263 det/smp dan Prabu Rangkasari = 321,462 det/smp. Nilai tundaan rata-rata simpang = 723,222 det/smp sedangkan pada kondisi setelah pemasangan ITCS tahun 2023 tundaan rata-rata simpang = 646,771 det/smp dengan kata lain mengalami penurunan sebesar 10,6% yaitu tetap pada tingkat pelayanan F (LOS F). Kondisi sesudah pemasangan ITCS dikoordinasi lebih baik dibandingkan kondisi pada saat sebelum pemasangan ITCS didapat penghematan waktu tundaan sebesar 77 smp/detik meskipun tidak mengalami perbedaan bila dilihat dari tingkat pelayanan simpang.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis simpang Dasan Cermen sebelum dan sesudah pemasangan ITCS (*Intelligent Traffic Control System*) dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Kinerja simpang sebelum pemasangan ITCS didapatkan nilai derajat kejenuhan (DS) rata-rata sebesar 1,273, tundaan (D) rata-rata simpang 732,222 det/smp dan panjang antrian (QL) rata-rata sebesar 399,004 m.
2. Kinerja simpang sesudah pemasangan ITCS didapatkan nilai derajat kejenuhan (DS) rata-rata sebesar 1,271, tundaan (D) rata-rata simpang 646,771 det/smp dan panjang antrian (QL) rata-rata sebesar 381,919 m.

3. Setelah pemasangan ITCS terdapat peningkatan kinerja simpang berdasarkan derajat kejenuhan (DS) 0,2%, tundaan (D) 10,6% dan panjang antrian (QL) 4,3%.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan peneliti antara lain :

1. Untuk meningkatkan disiplin lalu lintas bagi pengguna jalan perlu dilakukan sosialisasi yang lebih intensif khususnya dari Dinas Perhubungan melalui *voice announcer* ITCS.
2. Peneliti selanjutnya dapat menggunakan software atau aplikasi VISSIM untuk mendapatkan simulasi waktu siklus atau *cycle time* yang paling optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggi. (2021). *Efektivitas Pemanfaatan Area Traffic Control System (ATCS) Dalam Pengawasan Lalu Lintas Kota Medan*. Medan: UMSU.
- Anggi, k. (2013). *Kapasitas Simpang Bersinyal dan Derajat Kejenuhan*. Aceh: Teknik Sipil Universitas Malikussaleh.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Darat. (1999). *Pedoman Perencanaan dan Pengoperasian Lalu Lintas*. Jakarta: Dirjen Bina Marga.
- Hadi, M. I., Silalahi, D. K., & Wibawa, I. P. (2022). Pengaturan Lampu Lalu Lintas Berdasarkan Deteksi Volume Kendaraan Menggunakan Metode Yolov3 Traffic Light Setting Based On Vehicle Volume Detection Using The Yolov3 Method. *e-Proceeding of Engineering*, 9(5), 2133-2142.
- Ikhwan, K. (2017). *EVALUASI KINERJA SIMPANG BERSINYAL AKIBAT PENERAPAN MARKA YELLOW BOX JUNCTION (Studi kasus: Simpang Rembige versus Simpang Pagesangan, Kota Mataram)*. Mataram: Universitas Mataram.

- Mamentu, S. S., Lefrandt, L. I., & Timboeleng, J. A. (2019). Evaluasi Penerapan Area Traffic Control System (ATCS) Pada Simpang Bersinyal (Studi Kasus: Persimpangan Teling). *Jurnal Sipil Statik*, 7(2), 209-218.
- Direktorat Jendral Bina Marga. (1997). *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Jakarta: Dirjen Bina Marga.
- Marpaung, A. K. (2021). *Efektivitas Pemanfaatan Area Traffic Control System (ATCS) Dalam Pengawasan Lalu Lintas Di Kota Medan*. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Maulidya, I. (2022). Optimisasi Kinerja Automatic Traffic Control System (ATCS) di Simpang Dome Kota Balikpapan. *Warta Penelitian Perhubungan*, 34(2), 119-128.
- Morlok, E. (1991). *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Nasihah, G. N., & Purwaningsih, M. A. (2017). *Evaluasi kinerja simpang bersinyal Jl. Raya Darmo dan Jl. Dr. Soetomo – Jl. Polisi Istimewa Surabaya sebelum dan sesudah pemasangan alat ATCS-ITS*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Natsir, R. (2016). Evaluasi Kinerja Simpang Bersinyal di Kota Palopo. *Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 1(1), 95-100.
- Naway, F. R., & Suryani, F. (2023). Perencanaan Area Traffic Control System (ATCS) Untuk Optimasi Kinerja Persimpangan Pada Jalan H.M Joyo Martono, Kota Bekasi. *Jurnal IKRAITH-TEKNOLOGI*, 7(1), 53-63.
- Nugraha, I. M. (2012). *EVALUASI KINERJA SIMPANG BERSINYAL MENGGUNAKAN SOFTWARE KAJI DAN SIDRA INTERSECTION 5.1 (Studi Kasus: Simpang Rembiga, Kota Mataram)*. Mataram: Universitas Mataram.
- Perhubungan, K. (2006). *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor KM 14 Tahun 2006 Tentang Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas di Jalan*. Jakarta: Biro Hukum Kementerian Perhubungan.
- Pratomo, R. O., Pratama, R. A., & Setijowarno, D. (2021). Evaluasi Kinerja Apill (Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas) Di Kota Semarang (Studi Kasus Di Jalan Dr. Cipto Semarang Sepanjang 2,8 Km Saat Jam Puncak Keramaian). *G-SMART Jurnal Teknik Sipil Unika Soegijapranata Semarang*, 5(2), 71-81.
- Putranto, L. (2007). *Rekyasa Lalu Lintas Jilid II*. Jakarta: PT Indeks.
- Simbolon, A. T. (2020). *Evaluasi Durasi Lampu Lalu Lintas Pada Persimpangan Jalan Ring Road – Jalan Gatot Subroto Kota Medan*. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Siregar, R. H. (2020). *Penerapan Balanced Scorecard Sebagai Alat Penilaian Kinerja Sektor Publik Pada Adaptive Traffic Control System (ATCS) yang Diterapkan Dinas Perhubungan Kota Medan*. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara .
- Tafui, S. E. (2016). *“Optimalisasi Pemanfaatan Sistem ATCS Pada Simpang-Simpang Yang Berdekatan”*. Malang: Institut Teknologi Nasional.
- Wishnukoro. (2008). *Analisis simpang empat bersinyal dengan menggunakan manajemen lalu lintas*. Yogyakarta: Tugas akhir. Jts.FTSPUII.
- Yulandari, I. P. (2011). *Analisis Kinerja Simpang Bersinyal Condongcatur*, Yogyakarta. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia Yogyakarta .