

Studi Kelayakan Pembangunan Underpass di Bundaran Waru Ditinjau dari Segi Lalu Lintas dan Ekonomi Jalan Raya

Indra Dwi Laksono dan Catur Arif Prastyanto
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: cprastyanto@gmail.com

Abstrak—Bundaran Waru memiliki kendala yang muncul akibat adanya konflik pergerakan lalu lintas kendaraan dari berbagai arah. Terdapat beberapa persilangan arus lalu lintas (*Weaving*) yang menyebabkan bundaran tersebut sering terjadi macet pada jam puncak (*Peak Hour*). Analisis lalu lintas berupa karakteristik kondisi lalu lintas pada saat eksisting dan membandingkan kinerja lalu lintas saat sebelum dan sesudah dibangunnya underpass ditinjau dari kecepatan tempuh dan derajat kejenuhan di Bundaran Waru. Analisis ekonomi dinilai berdasarkan analisis Biaya Operasional Kendaraan (BOK), Nilai Waktu, *Benefit Cost Ratio* (BCR) dan *Net Present Value* (NPV). Hasil perhitungan yang dilakukan, didapatkan nilai derajat kejenuhan (DS) pada tahun 2021 sebelum dibangunnya *underpass* yaitu 0,60 pada bagian jalinan AB, 0,70 pada bagian jalan BC, 0,53 pada bagian jalinan CA. Setelah direncanakan pembangunan *underpass* derajat kejenuhan (DS) kondisi eksisting menurun yaitu 0,60 pada bagian jalinan jalan AB, 0,59 pada bagian jalinan jalan BC, 0,53 pada bagian jalinan jalan CA. Sedangkan DS pada bagian *underpass* pada 2021 sebesar 0,23-0,29. Berdasarkan analisis kelayakan dari segi ekonomi didapatkan nilai *Benefit Cost Ratio* (BCR) = 1,749 > 1, *Net Present Value* (NPV) = Rp 111.687.095.336,507 > 0. Sesuai persyaratan analisis kelayakan ekonomi, maka rencana pembangunan underpass di Bundaran Waru Surabaya ini dapat dikatakan layak.

Kata Kunci—*Underpass* Bundaran Waru, Analisis Kinerja Lalu Lintas, Kelayakan Ekonomi, Studi Kelayakan.

I. PENDAHULUAN

SURABAYA sebagai salah satu kota metropolitan di Indonesia, kota dengan jumlah penduduk yang cukup padat sekitar 2.874.699 jiwa menurut hasil sensus penduduk BPS Provinsi Jawa Timur pada tahun 2017[1]. Surabaya dengan jumlah penduduk yang padat berdampak pada besarnya jumlah pertumbuhan penggunaan kendaraan pribadi, dengan besarnya jumlah pertumbuhan penggunaan kendaraan pribadi mengakibatkan meningkatnya volume lalu lintas di Surabaya. Sehingga dapat menyebabkan kemacetan, maka dari itu perlu adanya pengembangan di Surabaya untuk mengatasi kemacetan. Salah satu kemacetan terbesar di Surabaya adalah Bundaran Waru.

Bundaran waru merupakan akses penghubung Surabaya ke Sidoarjo dan sebaliknya. Kendala yang muncul tersebut akibat adanya konflik pergerakan lalu lintas kendaraan dari berbagai arah dapat dilihat pada Gambar 1. Bundaran Waru terdapat beberapa persilangan arus lalu lintas (*Weaving*) yang menyebabkan bundaran tersebut sering terjadi macet pada jam puncak (*Peak Hour*). *Circle* Selatan merupakan pertemuan arah Selatan (Jl. Raya Waru) menuju ke Barat (Jl. Raya Geluran) dan arah Selatan (Jl. Raya Waru) menuju ke Utara (Jl. Ahmad Yani). Sedangkan pada *Circle* Barat



- : Dari Jl. Ahmad Yani ke Jl. Geluran
- : Dari Jl. Ahmad Yani ke Jl. Waru
- : Dari Jl. Waru ke Jl. Geluran
- : Dari Jl. Waru ke Jl. Ahmad Yani
- : Dari Jl. Geluran ke Jl. Waru
- : Dari Jl. Geluran ke Jl. Ahmad Yani

Gambar 1. Lokasi Bundaran Waru, Surabaya.



Gambar 2. Titik Survei Lalu Lintas Bundaran Waru.

merupakan pertemuan arah Barat (Jl. Raya Geluran) menuju ke Selatan (Jl. Raya Waru) dan arah Selatan (Jl. Raya Waru) menuju ke Utara (Jl. Ahmad Yani). Pada *circle* Barat merupakan titik yang sangat padat dikarenakan merupakan akses keluar dari Tol Surabaya-Mojokerto, Tol Surabaya-Porong, serta Jalan Nasional. Lokasi sekitar Bundaran Waru terdapat terminal, pusat perbelanjaan dan kawasan industri yang mengakibatkan banyaknya kendaraan yang melintas pada jalan tersebut, dapat dilihat pada Gambar 1.

Pada hari Kamis tanggal 15 Agustus 2019, diadakan rapat koordinasi terkait rencana pembangunan *Underpass* di Bundaran Waru Surabaya untuk mengatasi permasalahan kemacetan lalu lintas oleh Kadishub dan Ditlantas Polda Jatim.

Dengan kondisi tersebut, sangat penting untuk dilakukan kajian layak atau tidaknya sebuah perencanaan *underpass* tersebut ditinjau dari segi lalu lintas dan dari segi ekonomi. Maka, perlu adanya studi lebih lanjut terkait dengan uraian

Tabel 1.
Hasil *Peak Hour Volume*

PUKUL	JENIS KENDARAAN (smp/jam)			UM	PHV
	MC	LV	HV		
13.00-13.15	1418,5	1722,0	223,6	2	
13.15-13.30	1508,0	1844,0	254,8	1	
13.30-13.45	1581,5	1930,0	299,0	0	
13.45-14.00	1480,0	1708,0	237,9	0	14207,3
14.00-14.15	1502,5	2050,0	292,5	2	14688,2
14.15-14.30	1494,0	2239,0	442,0	0	15256,4
14.30-14.45	1321,0	1567,0	154,7	0	14488,6
14.45-15.00	1516,5	1781,0	328,9	0	14689,1
15.00-15.15	1443,5	1940,0	308,1	0	14535,7
15.15-15.30	1328,0	1769,0	256,1	0	13713,8
15.30-15.45	1558,0	1806,0	228,8	0	14263,9
15.45-16.00	1575,0	1843,0	250,9	0	14306,4
16.00-16.15	1597,0	1747,0	166,4	0	14125,2
16.15-16.30	1713,5	1780,0	144,3	0	14409,9
16.30-16.45	1838,0	1978,0	162,5	0	14795,6
16.45-17.00	1627,5	1984,0	137,8	1	14876,0
17.00-17.15	1785,5	2257,0	154,7	2	15562,8
17.15-17.30	1781,5	2254,0	156,0	0	16116,5
17.30-17.45	1871,0	2154,0	149,5	0	16312,5
17.45-18.00	1764,0	2017,0	163,8	0	16508,0
18.00-18.15	1813,0	1982,0	143,0	0	16248,8
18.15-18.30	2089,0	2234,0	169,0	0	16549,3
18.30-18.45	2121,5	2160,0	153,4	0	16809,7
18.45-19.00	2049,0	2131,0	170,3	0	17215,2
19.00-19.15	2083,5	2016,0	156,0	0	17532,7
19.15-19.30	1734,5	1862,0	127,4	0	16764,6
19.30-19.45	1682,5	1814,0	119,6	0	15945,8
19.45-20.00	1646,0	2065,0	119,6	1	15426,1

diatas berjudul “Studi Kelayakan Pembangunan *Underpass* di Bundaran Waru Ditinjau Dari Lalu Lintas Dan Ekonomi Jalan Raya”.

Pada tugas akhir ini akan dianalisis kelayakan *Underpass* Bundaran Waru dari segi lalu lintas sebelum dan sesudah pembangunan *underpass*. Sedangkan dari segi ekonomi akan dilakukan analisa penghematan Biaya Operasional Kendaraan (BOK), dan nilai waktu (time value) sebelum dan sesudah adanya *Underpass* di Bundaran Waru. Penentuan kelayakan dari pembangunan *Underpass* di Bundaran Waru ini ditentukan dengan nilai *Benefit Cost Ratio* (BCR) dan *Net Present Value* (NPV).

II. URAIAN PENELITIAN

Urutan penyelesaian pada perencanaan ini dimulai dari studi pustaka, pengumpulan data primer dan data sekunder yang selanjutnya dilanjutkan dengan analisis terkait karakteristik kendaraan, kinerja lalu lintas dan ekonomi jalan raya kondisi eksisting dan rencana setelah dibangun *underpass*.

A. Tahap Studi Pustaka

Tahapan ini berisi dasar teori penunjang yang dapat diambil dari jurnal, modul, buku serta tugas akhir yang telah ada sebelumnya. Pada perencanaan ini analisis kinerja lalu lintas menggunakan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) [2] dan untuk bagian *underpass* menggunakan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI)[3]. Analisis penghematan Biaya Operasional kendaraan (BOK) dan nilai waktu menggunakan buku perencanaan dan permodelan transportasi oleh Ofyar Z, Tamin[4] dan kelayakan ekonomi perhitungan *Benefit Cost Ratio* (BCR) dan *Net Present Value* (NPV) mengacu pada modul 3 kelayakan ekonomi oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat[5].

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data primer dilakukan dengan survei perhitungan volume lalu lintas dengan mengacu teori terkait kinerja lalu lintas menurut MKJI[6]. Data sekunder didapatkan dari Badan Pusat Statistika (BPS) Jawa Timur terkait data pertumbuhan penduduk[1], pertumbuhan kendaraan bermotor[7].

C. Hasil Analisis

Hasil analisis yang didapat adalah persentase nilai karakteristik kendaraan, kinerja lalu lintas berupa derajat kejenuhan, kecepatan dan tundaan pada kondisi eksisting dan setelah dibangun *underpass*. Selanjutnya kelayakan ekonomi berupa penghematan nilai Biaya Operasional Kendaraan (BOK), nilai waktu, *Benefit Cost Ratio* (BC) dan *Net Present Value* (NPV).

III. PETUNJUK TAMBAHAN

A. Analisis Volume dan Karakteristik Kendaraan

Dilakukan survei perhitungan volume lalu lintas di Bundaran Waru yang bertujuan untuk mendapatkan data *Peak Hour Volume* (PHV) dan karakteristik kendaraan berupa persentase kendaraan SM, LV, MV, dan UM. Mekanisme survei :

Survei dilakukan pada tanggal 20 Februari 2020 pukul 13.00 hingga 20.00 WIB dengan perekaman lalu lintas menggunakan CCTV dari Surabaya Intelligent Transport System (SITS) dan dua kamera video yang diletakkan di lantai 15 gedung Aryaduta Resindecce seperti pada Gambar 2 dengan mengamati 6 pergerakan lalu lintas:

- Jalan Ahmad Yani ke Jalan Geluran
- Jalan Ahmad Yani ke Jalan Waru
- Jalan Waru ke Jalan Ahmad Yani



Gambar 3. Bagian Jalanan Jalan Bundaran Waru.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Geometrik Jalan

Bagian Jalan	Lebar Masuk		Lebar Masuk Rata-Rata	Lebar Jalanan	W_E	L_w	W_w
	Pendekat 1	Pendekat 2	W_E	W_w	W_E/W_w		L_w/L_w
	AB	12	14	13	20	0,65	210
BC	21	15	18	17	1,06	150	0,11
CA	8,5	10	9,25	21	0,44	130	0,16

- d. Jalan Waru ke Jalan Geluran
- e. Jalan Geluran ke Jalan Ahmad Yani
- f. Jalan Geluran ke Jalan Waru

1) *Peak Hour Volume (PHV)*:

$$PHV = \Sigma \text{Volume kendaraan per 15 menit selama 1 Jam} \quad (1)$$

Hasil survei volume dan karakteristik lalu lintas di Bundaran Waru didapatkan hasil pada Tabel 1.

Didapatkan jam sibuk pada jam 18.15-19.15 WIB dengan total kendaraan 17532,7 smp/jam. Dengan persentase kendaraan 65% MC, 33% LV, 2% MV dan 0% UM.

B. Analisis Kinerja Lalu Lintas

Analisis kinerja lalu lintas dihitung dengan kondisi eksisting atau sebelum dibangun underpass pada bagian Bundaran Waru mengacu pada MKJI [6] dan kondisi setelah dibangun underpass mengacu pada PKJI [3]. Analisis kinerja lalu lintas pada bagian Bundaran Waru dihitung berdasarkan bagian jalanan jalan AB, jalanan BC dan jalanan CA dapat lihat pada Gambar 3.

1) *Perhitungan Kapasitas (C)*

Kapasitas bundaran didefinisikan sebagai arus masuk atau keluar maksimum pada kondisi lalu lintas yang dicapai saat bagian jalanan mencapai kapasitasnya. Dalam perhitungan kapasitas merupakan hasil perkalian dari kapasitas dasar dengan faktor penyesuaian.

2) *Perhitungan Kapasitas Bagian Bundaran Waru*

Kapasitas dasar dihitung dengan memasukkan variabel kondisi geometrik jalan yang sudah diukur melalui bantuan Google Earth dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai kapasitas kondisi eksisting pada Bundaran Waru sebelum dan sesudah dibangun *underpass*:

$$C = C_0 \times F_{CS} \times F_{RSU} \quad (2)$$

$$C = 135 \times W_w^{1,3} \times \left(1 + \frac{W_E}{W_w}\right)^{1,5} \times \left(1 - \frac{p_w}{3}\right)^{0,5} \times$$

Tabel 3. Nilai DS Kondisi Eksisting dan Setelah Dibangun Underpass Bagian Bundaran Waru Selama 10 Tahun

Tahun	DS Eksisting			DS Rencana		
	AB	BC	CA	AB	BC	CA
2020	0,56	0,65	0,50	0,56	0,55	0,49
2021	0,60	0,70	0,53	0,60	0,59	0,53
2022	0,65	0,75	0,57	0,64	0,63	0,57
2023	0,70	0,81	0,62	0,69	0,67	0,61
2024	0,75	0,87	0,66	0,74	0,72	0,65
2025	0,81	0,93	0,71	0,80	0,78	0,70
2026	0,87	1,00	0,76	0,86	0,83	0,75
2027	0,93	1,07	0,82	0,92	0,89	0,81
2028	1,00	1,15	0,88	0,99	0,96	0,87
2029	1,08	1,24	0,94	1,07	1,03	0,94
2030	1,16	1,33	1,01	1,15	1,11	1,00

Tabel 4. Nilai DS Kondisi Rencana Underpass Selama 10 Tahun

Tahun	DS Rencana	
	Jl. A. Yani - Jl. Raya Waru	Jl. Raya Waru - Jl. A. Yani
2020	0,22	0,27
2021	0,23	0,29
2022	0,25	0,31
2023	0,27	0,34
2024	0,29	0,36
2025	0,31	0,39
2026	0,33	0,42
2027	0,35	0,45
2028	0,38	0,48
2029	0,41	0,52
2030	0,44	0,55

$$\left(1 + \frac{W_E}{W_w}\right)^{-1,8} \times F_{CS} \times F_{RSU} \quad (3)$$

Dimana:

C_0 = kapasitas dasar (smp/jam)

F_{CS} = faktor ukuran kota, sebesar 1,05 untuk kota lebih dari 3 juta jiwa.

F_{RSU} = faktor hambatan samping, sebesar 0,95 dengan rasio UM 0,00

Hasil perhitungan untuk bagian jalanan BC pada kondisi eksisting sebelum dibangun *underpass* pada tahun 2020 sebagai berikut:

Rasio menjalin (P_w) pada bagian jalan BC = 0,81

$$C = C_0 \times F_{CS} \times F_{RSU}$$

$$C = 135 \times W_w^{1,3} \times (1 + W_E/W_w)^{1,5} \times (1 - P_w/3)^{0,5} \times (1 + W_w/L_w)^{-1,8} \times F_{CS} \times F_{RSU}$$

$$C = 135 \times 17^{1,3} \times (1 + 18/17)^{1,5} \times (1 - 0,81/3)^{0,5} \times (1 + 0,11)^{-1,8} \times 1,05 \times 0,95$$

$$C = 11153,509 \text{ smp/jam}$$

3) *Perhitungan Kapasitas Bagian Rencana Underpass*

Untuk tipe jalan 2/2TT, C ditentukan untuk total arus dua arah. Untuk jalan dengan tipe 4/2T, 6/2T, dan 8/2T, arus ditentukan secara terpisah per arah dan kapasitas ditentukan per lajur. Perhitungan kapasitas dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$C = C_0 \times F_{CLJ} \times F_{CPA} \times F_{CPA} \times F_{CHS} \times F_{CUK} \quad (4)$$

Dimana:

C_0 = kapasitas dasar

F_{CLJ} = faktor penyesuaian kapasitas terkait lajur atau jalur lalu lintas, dengan nilai 1650 per lajur untuk jalan 4/2T

F_{CPA} = faktor penyesuaian kapasitas terkait pemisah arah, hanya pada jalan tak terbagi, dengan nilai 1,00 untuk jalan 4/2T dengan lebar jalan 3,5 meter per lajur

Tabel 5.
Nilai Tundaan Eksisting Sebelum Dibangun Underpass Selama 10 Tahun

Tahun	Tundaan Eksisting			Bundaran Rata-Rata
	AB	BC	CA	
2020	15634,158	24432,066	9318,319	6,854
2021	18171,278	30540,618	10744,554	7,200
2022	22507,363	21974,087	12389,762	7,695
2023	28228,340	136947,718	14614,965	12,388
2024	36035,467	147021,613	22732,373	12,738
2025	47219,711	157843,548	22732,373	13,212
2026	64469,290	169469,509	29078,836	13,902
2027	94519,083	181959,700	38249,662	15,030
2028	160558,132	195378,863	52594,526	17,328
2029	170445,647	209796,621	78218,085	17,923
2030	183240,227	225287,853	122541,455	19,013

Tabel 6.
Nilai Tundaan Eksisting Setelah Dibangun Underpass Selama 10 Tahun

Tahun	Tundaan Rencana			Bundaran Rata-Rata
	AB	BC	CA	
2020	18993,855	23484,879	14696,142	7,760
2021	20862,759	18292,378	16092,837	7,383
2022	18591,732	21974,087	17641,003	7,319
2023	23283,684	27260,644	14358,114	7,446
2024	29657,437	34305,956	17764,497	8,041
2025	38726,658	44065,382	22258,170	8,836
2026	52566,025	58371,507	28391,894	9,971
2027	76235,060	81274,014	37185,782	11,768
2028	126303,615	123937,097	50771,154	15,181
2029	143770,687	232879,868	74514,481	19,601
2030	154585,156	189249,084	127063,542	19,158

FC_{HS} = faktor penyesuaian kapasitas terkait KHS pada jalan berbahu atau berkereb, hanya untuk jalan 2/2TT maka dianggap 1,00

FC_{UK} = faktor penyesuaian kapasitas terkait ukuran kota, dengan nilai 1,04 untuk kota dengan penduduk diatass 3 juta jiwa.

Maka Didapatkan nilai kapasitas underpass sebagai berikut :

$$C = C_0 \times FCLJ \times FCPA \times FCPA \times FC_{HS} \times FC_{UK}$$

$$C = (2 \times 1650) \times 1,00 \times 1,00 \times 0,95 \times 1,04$$

$$C = 3260,4 \text{ smp/jam (2 lajur)}$$

4) Perhitungan Derajat Kejenuhan (DS)

Derajat kejenuhan (DS) merupakan Rasio arus lalu lintas terhadap kapasitas (C), jika nilai DS yang diperoleh terlalu tinggi ($>0,75$) menandakan bahwa kawasan tersebut terjadi sangat padat.

$$DS = \frac{\text{Arus Total Lalu Lintas (Q)}}{\text{Kapasitas (C)}} \tag{5}$$

Derajat Kejenuhan (DS) kondisi eksisting sebelum dibangun *underpass* pada tahun 2020:

$$\text{Arus total bagian jalinan jalan BC} = 9875 \text{ smp/jam}$$

$$\text{Kapasitas BC} = 11153,509 \text{ smp/jam}$$

$$DS = \frac{\text{Arus Total Lalu Lintas (Q)}}{\text{Kapasitas (C)}}$$

$$DS = \frac{9875}{11153,309}$$

$$DS = 0,885$$

Hasil perhitungan derajat kejenuhan pada bagian jalinan lainnya dalam kondisi eksisting dan rencana pembangunan

Tabel 7.
Nilai Kecepatan Eksisting sebelum dan Sesudah Dibangun Underpass Selama 10 Tahun

Tahun	Kecepatan Eksisting (km/jam)			Kecepatan Eksisting with Project (km/jam)		
	AB	BC	CA	AB	BC	CA
2020	28,031	25,716	27,505	27,070	27,480	28,069
2021	27,480	25,029	27,080	26,560	26,976	27,643
2022	26,855	16,174	26,606	25,967	26,409	27,166
2023	26,137	16,161	26,070	25,287	25,763	26,630
2024	25,296	16,157	25,462	24,493	25,019	26,021
2025	24,287	16,153	24,761	23,543	24,142	25,320
2026	23,021	16,149	23,938	22,360	23,078	24,501
2027	21,271	16,145	22,946	20,753	21,706	23,516
2028	16,863	16,141	21,687	17,641	19,652	22,278
2029	16,862	16,137	19,898	16,251	16,372	20,558
2030	16,861	16,133	16,085	16,250	16,367	16,386

Tabel 8.
Nilai Kecepatan Bagian Underpass Selama 10 Tahun

Tahun	Kecepatan Rencana (km/jam)	
	Jl. A. Yani - Jl. Raya Waru	Jl. Raya Waru - Jl. A. Yani
2020	52,00	50,00
2021	52,00	50,00
2022	50,00	48,00
2023	49,00	47,00
2024	49,00	47,00
2025	48,00	46,00
2026	48,00	46,00
2027	46,00	45,00
2028	46,00	44,00
2029	46,00	42,00
2030	44,00	42,00

underpass di Bundaran Waru pada Tabel 3 dan Tabel 4.

5) Perhitungan Tundaan (D_R)

a. Tundaan Lalu Lintas Bagian Jalinan (DT)

- Jika $DS \leq 0,6$

$$DT = 2 + 2,68982 - (1 - DS)x2 \tag{6}$$

- Jika $DS \geq 0,6$

$$DT = \frac{1}{(0,59186 - 0,52525xDS) - (1 - DS)x26} \tag{7}$$

b. Tundaan Lalu Lintas Bundaran (DT_R)

$$DT_R = \frac{Q_i x DT_i}{Q_{Masuk}}; i=1 \dots n \tag{8}$$

c. Tundaan Bundaran (D_R)

$$D_R = DT_R + 4 \tag{9}$$

Hasil perhitungan tundaan pada bagian jalinan lainnya dalam kondisi eksisting sebelum dibangun underpass dapat dilihat pada Tabel 5, dan besar tundaan pada kondisi rencana pembangunan underpass di Bundaran Waru dapat dilihat pada Tabel 6.

6) Perhitungan Kecepatan (V)

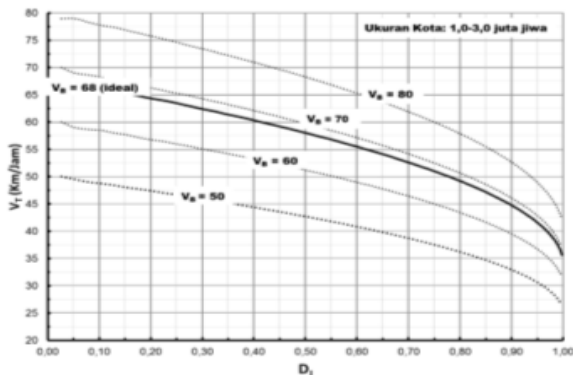
a. Kecepatan Bagian Bundaran Waru

Perhitungan Kecepatan Tempuh (V) menggunakan metode MKJI 1997. Berikut adalah perumusan yang digunakan:

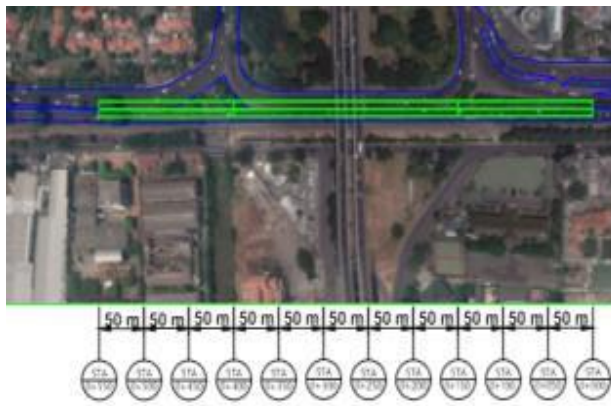
$$V = V_0 x 0,5(1 + (1 - DS)^{0,5}) \tag{10}$$

$$V = (43x(1 - P_w/3))x0,5 + (1+(1 - DS)^{0,5}) \tag{11}$$

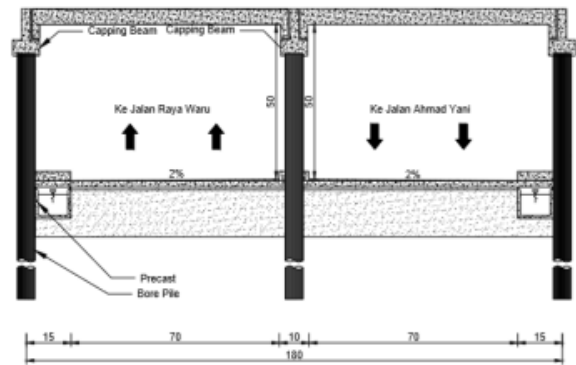
Hasil perhitungan kecepatan kendaraan pada bagian jalinan lainnya dalam kondisi eksisting dan rencana pembangunan underpass di Bundaran Waru dapat dilihat



Gambar 3. Bagian Jalinan Jalan Bundaran Waru.



Gambar 4. Perencanaan Panjang Underpass Bundaran Waru.



Gambar 5. Potongan Melintang Underpass Sta 0+350 Perencanaan Underpass Bundaran Waru.

Tabel 11. Present Worth Cost dan Benefit Selama 10 Tahun

Tahun Operasi Ke-	i = 6,22% (P/F, i%, n)	Present Worth Cost (Rp)	Present Worth Benefit (Rp)
0	1,000	103.330.051.153,985	-
1	0,941	5.053.658.592,967	10.338.092.168,999
2	0,886	4.943.230.087,428	26.820.953.759,045
3	0,834	4.835.214.577,268	28.859.723.813,495
4	0,786	4.729.559.335,644	29.612.009.471,948
5	0,740	4.626.212.787,853	30.370.993.497,013
6	0,696	4.525.124.486,167	30.278.217.451,786
7	0,655	4.426.245.085,195	30.121.747.397,949
8	0,617	4.329.526.317,808	31.384.515.691,886
9	0,581	4.234.920.971,568	20.652.174.205,175
10	0,547	4.142.382.865,686	22.424.794.140,778
TOTAL		149.176.126.261,569	260.863.221.598,075

pada Tabel 7.

7) *Kecepatan Bagian Rencana Underpass*

Perhitungan kecepatan pada PKJI 2014 jalan perkotaan dapat dicari dengan menggunakan grafik hubungan antara derajat kejenuhan dan kecepatan arus bebas (V_B), grafik kecepatan dapat dilihat pada Gambar 3. Nilai kecepatan arus bebas (V_B) untuk menentukan nilai kecepatan didapat dengan cara sebagai berikut:

$$V_B = (V_{BD} + V_{BL}) \times FV_{BHS} \times FV_{BUK} \quad (11)$$

Dimana :

- V_B = kecepatan arus bebas (km/jam)
- V_{BD} = kecepatan arus bebas dasar
- V_{BL} = nilai penyesuaian kecepatan akibat lebar jalan (km/jam)
- FV_{BHS} = faktor penyesuaian kecepatan bebas akibat hambatan samping pada jalan yang memiliki bahu atau jalan yang dilengkapi kereb/trotoar dengan jarak kereb penghalang terdekat
- FV_{BUK} = faktor penyesuaian kecepatan bebas untuk ukuran kota

Nilai Kecepatan pada kondisi rencana underpass selama 10 tahun dapat dilihat pada Tabel 8.

C. *Analisis Kelayakan Ekonomi*

Pada perencanaan pembangunan *underpass* di Bundaran Waru ini perlu dilakukannya analisis kelayakan dari segi ekonomi. Acuan yang menjadi parameter kelayakan proyek tersebut adalah dari perbandingan biaya yang dikeluarkan untuk membangun sebuah *underpass* dengan keuntungan yang didapat. Biaya (*Cost*) yang dikeluarkan adalah biaya investasi dan perawatan tiap tahun dan inflasi yang terjadi.

Keuntungan (*Benefit*) yang didapat dari perhitungan pernghematan Biaya Operasional Kendaraan (BOK) dan Nilai Waktu. Setelah itu dilakukan perhitungan *Benefit Cost Ratio (BCR)* dan *Net Present Value (NPV)*.

1) *Perhitungan Biaya Operasional Kendaraan (BOK)*

Metode analisis Biaya Operasional Kendaraan pada tugas akhir ini mengacu pada Jasa Marga[4]. Parameter yang digunakan dalam perhitungan BOK adalah kecepatan, derajat kejenuhan dan komponen biaya pada kendaraan. Perhitungan BOK sepeda motor menggunakan acuan ND.Lea untuk mencari persentase sepeda motor terhadap kendaraan golongan I. Persentase tersebut digunakan sebagai penambahan Biaya Operasional Kendaraan (BOK)[8].

Saving BOK :

$$Total\ BOK = total\ komponen\ BOK \times \frac{panjang\ jalan}{1000} \times 365 \times volume\ kendaraan \quad (12)$$

$$Saving\ BOK = Total\ BOK\ Eksisting - (Total\ BOK\ Eksisting\ with\ project + Total\ BOK\ Rencana\ Underpass) \quad (13)$$

Hasil perhitungan *saving BOK* selisih antara BOK kondisi rencana dan kondisi eksiting pembangunan *underpass* tiap golongan kendaraan dan total *saving BOK* per tahun dapat dilihat pada Tabel 9.

2) *Perhitungan Nilai Waktu*

Nilai Waktu adalah merupakan besar jumlah uang yang harus dikeluarkan pada tiap pengemudi kendaraan bermotor untuk penghematan waktu tempuh. Besar nilai waktu bergantung pada jenis kendaraan dan lokasi studi. Nilai waktu ditentukan oleh tiap golongan kendaraan, pada perhitungan

Tabel 9.
Saving Biaya Operasional Kendaraan

TAHUN	TOTAL BOK EKSTING (Rp)	TOTAL BOK EKSTING WITH PROJECT (Rp)	TOTAL BOK RENCANA UNDERPASS (Rp)	SAVING BOK (Rp)
2020	25.977.347.099,961	25.977.347.099,961	-	-
2021	29.518.647.899,581	23.680.357.569,093	775.110.116,797	5.063.180.213,691
2022	37.606.474.228,451	27.545.805.081,109	886.201.704,371	9.174.467.442,972
2023	42.951.609.707,732	31.362.793.001,163	1.001.413.553,864	10.587.403.152,706
2024	48.523.009.717,049	35.685.572.913,017	1.126.601.273,645	11.710.835.530,388
2025	55.125.512.652,364	40.717.689.437,070	1.273.855.469,327	13.133.967.745,967
2026	62.467.875.096,301	47.297.612.959,636	1.433.316.365,004	13.736.945.771,661
2027	71.112.690.284,884	54.669.251.895,071	1.625.190.872,214	14.818.247.517,599
2028	82.528.059.893,119	64.485.223.343,270	1.835.738.334,838	16.207.098.215,012
2029	92.652.804.293,333	76.862.000.549,041	2.083.050.308,196	13.707.753.436,096
2030	105.503.507.143,753	87.247.528.782,987	2.356.201.294,401	15.899.777.066,365

Tabel 10.
Saving Nilai Waktu

Tahun	TOTAL NILAI WAKTU EKSTING (Rp)	TOTAL NILAI WAKTU EKSTING WITH PROJECT (Rp)	TOTAL NILAI WAKTU RENCANA (Rp)	TOTAL PENGHEMATAN NILAI WAKTU (Rp)
2020	42.108.903.958,215	42.108.903.958,215	-	-
2021	47.834.366.475,048	41.334.074.736,341	582.350.450,486	5.917.941.288,220
2022	68.560.228.897,621	46.801.132.066,617	672.317.888,564	21.086.778.942,440
2023	77.938.192.382,428	53.177.441.534,475	761.299.904,659	23.999.450.943,295
2024	87.531.998.714,705	60.702.542.884,861	844.482.386,305	25.984.973.443,539
2025	98.629.931.350,436	69.740.397.317,851	956.737.610,158	27.932.796.422,427
2026	111.724.668.759,876	80.912.397.901,381	1.061.351.700,487	29.750.919.158,008
2027	127.886.380.776,025	95.534.670.834,654	1.215.859.913,383	31.135.850.027,989
2028	155.080.586.930,808	119.064.520.389,972	1.364.400.002,647	34.651.666.538,190
2029	173.772.578.074,426	150.381.143.546,462	1.550.591.910,459	21.840.842.617,505
2030	197.909.459.022,228	171.050.817.481,241	1.757.703.095,282	25.100.938.445,705

Tabel 12.
Nilai NPV Per Tahun Selama 10 Tahun

Tahun ke-	Present Worth Cost (Rupiah/Tahun)	Present Worth Benefit (Rupiah/Tahun)	NPV Per tahun (Rupiah/Tahun)
0	103.330.051.153,985	-	-103.330.051.153,985
1	5.053.658.592,967	10.338.092.168,999	5.284.433.576,032
2	4.943.230.087,428	26.820.953.759,045	21.877.723.671,617
3	4.835.214.577,268	28.859.723.813,495	24.024.509.236,227
4	4.729.559.335,644	29.612.009.471,948	24.882.450.136,304
5	4.626.212.787,853	30.370.993.497,013	25.744.780.709,160
6	4.525.124.486,167	30.278.217.451,786	25.753.092.965,619
7	4.426.245.085,195	30.121.747.397,949	25.695.502.312,754
8	4.329.526.317,808	31.384.515.691,886	27.054.989.374,078
9	4.234.920.971,568	20.652.174.205,175	16.417.253.233,608
10	4.142.382.865,686	22.424.794.140,778	18.282.411.275,092
TOTAL	149.176.126.261,569	260.863.221.598,075	111.687.095.336,507

tugas akhir ini digunakan metode PT. Jasa Marga (1990-1996) formula Herbert Mohring pada Tabel 11.

$$Nilai Waktu = \text{Max}\{k \times \text{nilai waktu dasar}, \text{nilai waktu mini}\} \tag{14}$$

Besar koreksi nilai waktu dan nilai waktu minimum berdasarkan Kota Surabaya dapat dilihat pada Tabel 12 dan Tabel 13. Perhitungan nilai waktu menggunakan parameter kecepatan dan tundaan rata-rata pada bundaran untuk perhitungan *travel time* Waru.

3) *Travel time*:

$$Travel\ time = \left(\frac{Jarak}{Kecepatan}\right) + \text{Tundaan bundaran} \tag{15}$$

Dalam menentukan nilai waktu pada setiap tahunnya selama 10 tahun, maka dibutuhkan nilai kalibrasi serta *time value*. Nilai kalibrasi didapatkan dari perbandingan nilai harga dollar pada tahun 1996 dan harga dollar pada tahun 2020. Nilai waktu (*time value*) didapatkan dari nilai faktor kalibrasi dengan nilai waktu dasar. Harga nilai waktu terpilih merupakan harga saat studi tahun 1997, maka diperlukan konversi ke tahun 2020 dengan mengalikan faktor bunga

6,85% dan inflasi 3,90% yang didapatkan dari Bank Indonesia. Sehingga didapatkan nilai waktu tiap golongan:

- a. Golongan I = Rp 62.306,066
- b. Gol IIA = Rp 93.983,93
- c. Gol IIB = Rp 69.816,059

Nilai waktu tiap golongan kendaraan didapatkan dari perkalian jumlah kendaraan, nilai waktu per tahunnya, dan jumlah hari dalam setahun.

Nilai waktu :

$$Nilai\ Waktu = Arus\ lalu\ lintas \times Travel\ time \times \text{Inflasi nilai waktu} \times 365\ \text{hari} \tag{16}$$

Saving nilai waktu:

$$\text{Saving nilai waktu} = \text{nilai waktu eksisting} - (\text{nilai waktu eksisting with project} + \text{nilai waktu rencana underpass}) \tag{17}$$

Besarnya nilai waktu pada kondisi eksisting sebelum dibangun *underpass* dan rencana pembangunan *underpass* dapat dilihat pada Tabel 10.

4) *Perhitungan Benefit Cost Ratio (BCR)*

Nilai biaya pembangunan pada underpass Bundaran Waru dengan panjang 550 meter dan lebar 18 meter yang dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 sebesar Rp103.330.051.153,985.

- a. Biaya Pembangunan : Rp 103.330.051.153,985
- b. Biaya Pemeliharaan : Rp 5.367.996.157,450
(5% biaya pembangunan)
- c. Tingkat Inflasi : 3,90%
- d. Tingkat Suku Bunga : 6,22%

5) *Benefit Cost Ratio (BCR):*

$$BCR = \frac{Benefit}{Cost} \quad (18)$$

Setelah mendapat nilai Cost dan Benefit, maka diperlukan perhitungan *Present Worth Cost* dan *Present Worth Benefit* dengan nilai suku bunga ($i\%$) 6,22% seperti pada Tabel 11.

Benefit Cost Ratio (BCR):

$Benefit = \text{Rp } 260.863.221.598,075$

$Cost = \text{Rp } 149.176.126.261,569$

$BCR = \text{Benefit}/\text{Cost}$

$BCR = \text{Rp } 260.863.221.598,075 / \text{Rp } 149.176.126.261,569$

$BCR = 1,749 > 0$ (LAYAK)

6) *Perhitungan Net Present Value (NPV)*

Analisis NPV digunakan untuk meninjau kelayakan pembangunan underpass di Bundaran Waru. Analisis NPV secara ekonomi seperti dengan analisis BCR. Dalam perhitungan nilai NPV, didapatkan dari hasil selisih antara present worth cost dan present worth benefit seperti Tabel 12.

7) *Net Present Value (NPV):*

$$NPV = \text{benefit} - \text{Cost} \quad (19)$$

Net Present Value (NPV):

$Benefit = \text{Rp } 260.863.221.598,075$

$Cost = \text{Rp } 149.176.126.261,569$

$NPV = \text{Benefit} - \text{Cost}$

$NPV = \text{Rp } 260.863.221.598,075 - \text{Rp } 149.176.126.261,569$

$NPV = \text{Rp } 111.687.095.336,507 > 1$ (LAYAK)

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari analisis data yang dilakukan yaitu:

1. Karakteristik kendaraan yang melintas pada Bundaran Waru dapatkan jam sibuk pada pukul 18.15-19.15 WIB dengan total kendaraan 17532,7 smp/jam. Dengan persentase kendaraan 65% MC, 33% LV, 2% MV dan 0% UM.
2. Kinerja lalu lintas pada kondisi sebelum dan sesudah dibangunnya *underpass* pada Bundaran Waru berupa derajat kejenuhan, kecepatan, dan tundaan pada masing-masing bagian jalinan jalan. Berikut adalah hasil derajat kejenuhan, kecepatan dan tundaan pada Bundaran Waru:
 - a. Kondisi eksisting sebelum dan sesudah pembangunan *underpass* pada awal beroperasi tahun 2021 dan tahun terakhir rencana tahun 2030:
 - Derajat Kejenuhan (DS)
2021 : 0,53 – 0,70
2030 : 1,00 – 1,83
 - Kecepatan (V)
2021 : 25,029 – 27,643 km/jam
2030 : 15,683 – 16,861 km/jam
 - Tundaan (D_R)
2021 : 7,200 – 7,383 det/smp
2030 : 19,013 – 19,158 det/smp
 - b. Kondisi rencana *underpass* pada awal beroperasi tahun 2021 dan tahun terakhir rencana tahun 2030:
 - Derajat Kejenuhan (DS)
2021 : 0,23 – 0,27
2030 : 0,44 – 0,55
 - Kecepatan (V)
2021 : 50 - 52 km/jam
2030 : 42 - 44 km/jam

3. Kelayakan Ekonomi yang didapat dari hasil perhitungan analisis penghematan Biaya Operasional Kendaraan (BOK), penghematan nilai waktu, analisis Benefit Cost Ratio (BCR), analisis Net Present Value (NPV) sebagai berikut:
 - a. Dari hasil analisis Biaya Operasional Kendaraan (BOK) dan Nilai Waktu akan didapatkan hasil perbandingan antara kondisi sebelum dibangunnya *underpass* dan setelah dibangunnya *underpass*. Penghematan BOK yang didapatkan pada tahun 2021 adalah sebesar Rp 5.063.180.213,691. Penghematan nilai waktu yang didapatkan pada tahun 2021 sebesar Rp5.917.941.288,220.
 - b. Dari hasil analisis Benefit Cost Ratio (BCR) didapatkan hasil nilai BCR sebesar 1,749 memenuhi syarat $BCR > 1$ (LAYAK) serta nilai Net Present Value (NPV) sebesar Rp111.687.095.336,507 memenuhi syarat $NPV > 0$ (LAYAK).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPS Jawa Timur, "Proyeksi Penduduk Kabupaten/Kota di Jawa Timur," *Badan Pusat Statistika Provinsi Jawa Timur*. .
- [2] Direktorat Jendral Bina Marga, "Manual Kapasitas Jalan Indonesia MKJI," 1997. https://docs.google.com/file/d/0BxyPMnah6E_AZDZmMGMyNTEtYjJjOS00Yjc3LWI0MTEtZTRkOGQ3YjJhMjVj/view (accessed Mar. 22, 2019).
- [3] Kementerian Pekerjaan Umum, "Pedoman Kapasitas Jalan Perkotaan," 2014.
- [4] O. Z. Tamin, *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi Penerbit ITB Edisi Kedua*. Bandung, 2000.
- [5] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, "Modul 3 Kelayakan Ekonomi," 2017.
- [6] J. B. M. Direktorat, "Manual Kapasitas Jalan Indonesia," *Mkji Man. Kapasitas Jalan Indones.*, vol. 1, no. I, p. 564, 1997, doi: 10.1021/acsami.7b07816.
- [7] BPS Jawa Timur, "Pertumbuhan Kendaraan Bermotor," *Badan Pusat Statistika Provinsi Jawa Timur*. .
- [8] N.D.Lea, *Traffic and Economic Studies and Analysis*. 1975.