

EFKETFITAS SIMPANG BERSINYAL DENGAN SISTEM PENGATURAN DUA FASE PADA JALAN UTAMA DI KOTA PALU (Studi Kasus: Simpang Samratulangi – Sudirman- Cik Ditiro- Haji Hayyun)

Anas Tahir *
Nur Hidayat*

Abstract

The growth of vehicle every year give impact to traffic intersection performance. The impact of traffic such as vehicle queueing , traffic jam , rise in delay time and also increase travel time could be caused by traffic control system no effective because the increasing by traffic volume

This research is conducted in one of Major Street in Palu, namely at Samratulangi – Sudirman Street street is the intersection between Hj. Hayyun – Cik Ditiro Street.

In this research, the analyzed by using Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI).

From result of analysis by using MKJI , got intersection performance at condition of morning peak reside at service of level C with queue length is equal to 38,73, in the peak day has level of service F with queue length is equal to 65,04 m and afternoon peak with level of service E where the queueing length is 70,07 m. According to value of level of service on the this intersection had shown that traffic control system 2 (two) stage was not effective again.

Keyword: *signalized intersection, MKJI, traffic control system.*

1. Pendahuluan

Kota Palu yang merupakan salah satu dari sekian banyak kota yang ada di Indonesia. Sebagai ibu kota Pripinsi, kota Palu menjadi pusat dari segala aktifitas masyarakat dari berbagai macam aspek. Dari tahun ke tahun populasi penduduk kota Palu terus bertambah. Di lain sisi, kenaikan jumlah populasi kendaraan jauh lebih cepat dibandingkan dengan jumlah penduduk. Akibatnya permintaan perjalanan secara tidak langsung juga mengalami kenaikan, sedangkan kondisi prasarana hampir tidak mengalami peningkatan.

Bila populasi kendaraan terus meningkat sedangkan kondisi prasarana jalan lintas tidak bertambah lambat laun jalan akan mengalami kemacetan karena kapasitas jalan tidak bisa menampung volume lalu lintas yang ada. Hal ini juga akan berpengaruh terhadap kinerja persimpangan lalu lintas. Volume lalu lintas yang melewati persimpangan juga bertambah sehingga kapasitas simpang tidak bisa menampung volume lalu lintas yang lewat. Dampak yang ditimbulkan antara lain berupa kemacetan, kecelakaan lalu lintas, antrian kendaraan dan waktu perjalanan meningkat. Hal ini makin diperburuk bila tidak ada

penanganan terhadap sistem operasional lampu lalu lintas. Oleh karena itu perlu dilakukan peninjauan dan evaluasi mengenai kinerja persimpangan lalu lintas di Kota Palu.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kinerja beberapa simpang bersinyal yang ada di Kota Palu. Simpang bersinyal yang diteliti ada 2 (dua) buah yaitu simpang bersinyal pada ruas Jalan Samratulangi- Sudirman dan Simpang Bersinyal pada ruas jalan Monginsidi – Kartini. Persimpangan tersebut diambil dengan alasan mewakili simpang bersinyal pada jalan utama yang ada di kota Palu.

2. Tinjauan Pustaka

Arus lalu lintas terjadi karena adanya kebutuhan masyarakat yang hanya bisa dipenuhi di tempat lain. Perpindahan dari suatu tempat ke tempat lain memerlukan moda (sarana) dan Prasarana. Oleh karena itu arus lalu lintas timbul karena adanya interaksi antara pengemudi, kendaraan (*vehicle*) dan prasarana transportasi (jalan) serta lingkungan di mana lalu lintas terjadi.

* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

2.2. Karakteristik Arus Lalu Lintas

Mc Shane dan Roess (1990) menyatakan secara garis besar bahwa karakteristik dasar arus lalu lintas dibagi atas 3 parameter utama yaitu :

- 1) Volume lalu lintas
- 2) Kecepatan lalu lintas
- 3) Kerapatan lalu lintas

• Volume Lalu lintas

Volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melewati satu titik yang tetap pada jalan dalam interval waktu tertentu. Volume ini biasanya diukur dengan meletakkan satu alat penghitung pada tempat dimana volume tersebut ingin diketahui volumenya, baik secara otomatis maupun cara manual. Volume lalu lintas biasanya dinyatakan dalam satuan kendaraan/hari, kendaraan/jam atau yang lebih sering digunakan adalah smp/jam.

Volume lalu lintas dinyatakan dengan rumus :

$$q = \frac{n}{t} \dots\dots\dots(1)$$

- q = volume lalu lintas (smp/jam)
- n = Jumlah kendaraan (smp)
- t = waktu tempuh kendaraan (jam)

• Kecepatan Lalu Lintas

Kecepatan lalu lintas menggambarkan kondisi arus lalu lintas. Kecepatan adalah perubahan jarak dibagi dengan waktu tempuh. Kecepatan dapat diukur sebagai kecepatan titik, kecepatan perjalanan, kecepatan ruang dan kecepatan gerak. Kecepatan lalu lintas dirumuskan sebagai berikut :

$$u = \frac{d}{t} \dots\dots\dots(2)$$

- di mana :
- u = kecepatan (km/jam)
 - d = jarak tempuh (km)
 - t = waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak d (jam)

• Kerapatan Lalu lintas (Density)

Kepadatan (kerapatan) adalah parameter yang terakhir yaitu rata-rata jumlah kendaraan per

satuan panjang jalan pada suatu saat dalam waktu tertentu yang dirumuskan sebagai berikut :

$$k = \frac{n}{L} \dots\dots\dots(3)$$

- di mana :
- k = kepadatan (kerapatan), smp/km
 - n = jumlah kendaraan, (smp)
 - L = panjang jalan, (km)

Di samping persamaan (3), besar kepadatan (kerapatan) lalu lintas juga dapat ditentukan melalui suatu hubungan yang disebut dengan ‘*hubungan fundamental arus*’ yaitu hubungan antara volume-kecepatan-kepadatan. Lebih jelas mengenai ‘*hubungan fundamental arus*’ dapat dilihat pada gambar 1.

Persamaan hubungan fundamental arus dirumuskan sebagai berikut :

$$q = k.u \dots\dots\dots(4)$$

$$k = \frac{q}{u} \dots\dots\dots(5)$$

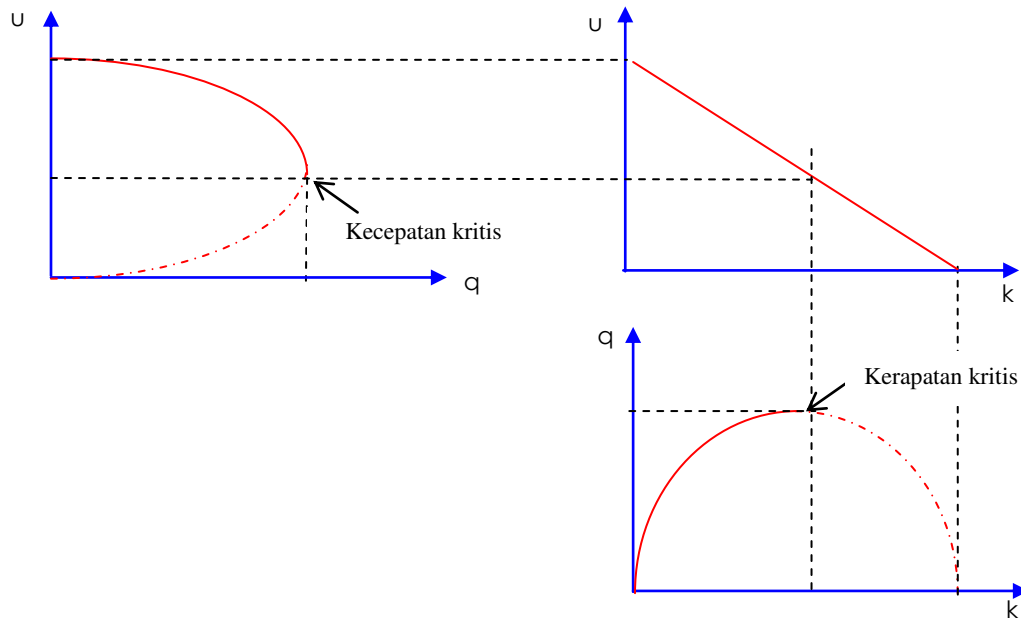
- dimana :
- k = kepadatan (smp/km)
 - u = kecepatan kendaraan (km/jam)
 - q = volume lalu lintas (smp/jam)

2.3 Kapasitas Simpang Bersinyal

Mc Shane dan Roess (1990) mengemukakan bahwa kapasitas pada simpang bersinyal (*signalized intersection*) didasarkan atas konsep arus jenuh dan tingkat arus jenuh. Besar kapasitas pada suatu jalur pendekat pada simpang bersinyal dinyatakan sebagai berikut :

$$ci = Si \times \frac{gi}{C} \dots\dots\dots(6)$$

- di mana :
- ci = Kapasitas pada lajur pendekat ke i (smp/jam)
 - Si = arus jenuh pada lajur pendekat ke i (smp /jam hijau efektif).
 - gi = waktu hijau (detik)
 - C = waktu siklus (detik)
 - (gi/C) = ratio hijau pada pendekat ke i.



Gambar. 1 Hubungan antara volume (q), kecepatan (u) dan kepadatan (k)

Sedangkan MKJI (1997) menyatakan bahwa kapasitas (C) suatu pendekat simpang bersinyal dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$c = S \times \frac{g}{C} \dots\dots\dots(7)$$

di mana :

- c = kapasitas (smp/jam)
- S = arus jenuh (smp/jam-hijau)
- g = waktu hijau (detik)
- C = waktu siklus (detik)

Yang dimaksud dengan arus jenuh adalah jumlah arus yang berangkat rata-rata dari antrian kendaraan dalam suatu pendekat selama waktu hijau (smp/hijau). Sedangkan arus jenuh dasar adalah jumlah arus yang berangkat dari antrian di dalam suatu pendekat selama kondisi ideal dinyatakan smp/jam hijau.

Waktu hijau adalah waktu nyala hijau dalam suatu pendekat. Sedangkan *waktu siklus* adalah selang waktu untuk urutan perubahan sinyal yang lengkap, yaitu antara dua awal hijau yang berurutan untuk satu fase yang sama.

Permulaan arus berangkat menyebabkan terjadinya '*kehilangan awal*' dari waktu hijau efektif, sedangkan arus berangkat setelah akhir

waktu hijau menyebabkan suatu '*tambahan akhir*' dari waktu hijau efektif. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat gambar (2.1). Jadi besarnya waktu hijau efektif yaitu lamanya waktu hijau di mana arus berangkat terjadi dengan besaran tetap sebesar S, dapat kemudian dihitung sebagai :

$$\text{Waktu Hijau Efektif} = \text{tampilan waktu hijau} - \text{kehilangan awal} + \text{tambahan akhir}$$

2.4 Kinerja Simpang Bersinyal

Mc Shane dan Roess (1990) menyatakan bahwa untuk mengevaluasi kinerja suatu persimpangan, secara umum dapat dilihat dari beberapa parameter sebagai berikut :

- Tundaan (*delay*)
- Jumlah berhenti (*number of stop*)
- Panjang antrian (*queue length*).

Setiap parameter tersebut menggambarkan total waktu pada saat memasuki suatu pendekat pada suatu persimpangan. Ukuran lain yang juga sering digunakan untuk menentukan karakteristik suatu persimpangan adalah total waktu perjalanan (*total travel time*)

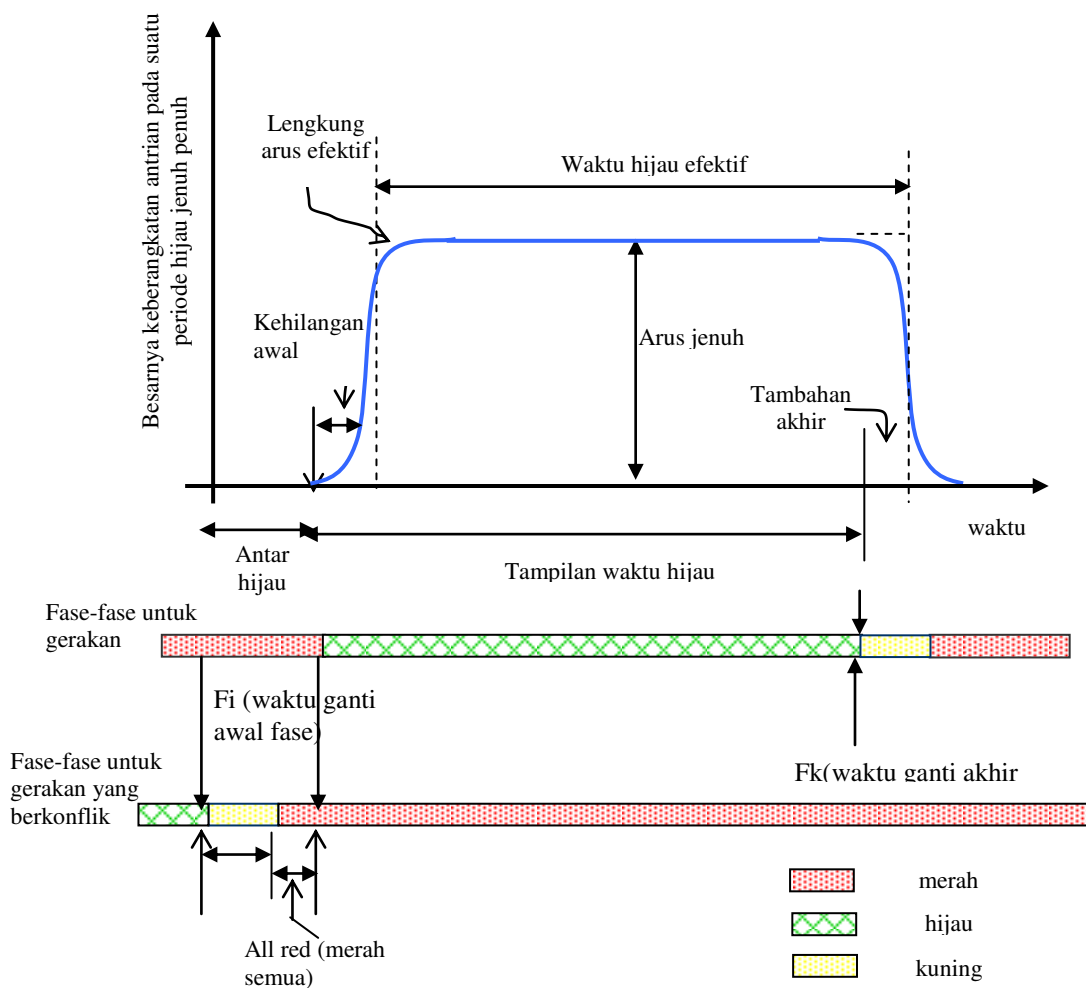
Untuk melihat kinerja persimpangan bersinyal dapat dilihat dari besar tundaan henti

yang terjadi. Indeks tingkat pelayanan simpang bersinyal dapat dilihat dari dua standar yaitu standar HCM (Highway Capacity Manual, 2000) seperti terlihat pada Tabel 1 dan dan MKJI pada Tabel 2. Kedua standar tersebut memperlihatkan tingkat pelayanan simpang bersinyal yang didasarkan pada nilai tundaan henti (*stopped delay*).

Menurut MKJI (1997) bahwa tundaan adalah waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melewati suatu simpang apabila dibandingkan tanpa melewati suatu simpang. Dari

jenis tundaan yang terjadi, dapat dikelompokkan menjadi 2 macam tundaan yaitu tundaan lalu lintas dan tundaan geometrik.

Menurut MKJI (1997) bahwa tundaan adalah waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melewati suatu simpang apabila dibandingkan lintasan tanpa melewati suatu simpang. Dari jenis tundaan yang terjadi, dapat dikelompokkan menjadi 2 macam tundaan yaitu tundaan lalu lintas (*traffic delay*) dan tundaan geometrik (*geometric delay*)



Gambar 2. Model Dasar untuk Arus Jenuh (Akcelik 1989)

Tabel .1 Indeks Tingkat Pelayanan Simpang Bersinyal (Menurut HCM 2000)

No	Tingkat Pelayanan (level of service)	Tundaan per kendaraan (det/kend) Control delay per vehicle (s/veh)
1	A	≤ 10
2	B	> 10 dan ≤ 20
3	C	> 20 dan ≤ 35
4	D	> 35 dan ≤ 55
5	E	> 55 dan ≤ 80
6	F	> 80

Sumber : Highway Capacity Manual 2000 (Metric Units).TRB,
National Research Council Washington, D.C

Tabel 2. Indeks Tingkat Pelayanan Pada Persimpangan dengan Lampu Lalu lintas

No	Tingkat Pelayanan	Tundaan Terhenti (det/kend)
1	A	≤ 5
2	B	5,1 - 15
3	C	15,1 - 25
4	D	25,1 - 40
5	E	40,1 - 60
6	F	> 60

Sumber :Perencanaan dan Pemodelan Transportasi (Tamin 2000)

• Tundaan Lalu Lintas (*Traffic Delay*)

Tundaan Lalu lintas (DT) adalah waktu menunggu yang disebabkan oleh interaksi lalu lintas dengan gerakan lalu lintas yang bertentangan.

Tundaan lalu lintas rata-rata pada suatu pendekat i dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut (didasarkan pada Akcelik 1988) :

$$DT = Cx \frac{0,5x(1-GR)^2}{(1-GRxDS)} + \frac{NQ_1x360}{C} \dots\dots(8)$$

di mana:

- DT = Tundaan lalu lintas rata-rata pada pendekat i (det/smp)
- DS = Derajat Kejenuhan
- C = Kapasitas (smp/jam)
- NQ₁ = Jumlah smp yang tertinggal dari fase hijau sebelumnya.

• Tundaan Geometrik (*Geometric Delay*)

Tundaan geometrik terjadi disebabkan oleh adanya perlambatan atau percepatan kendaraan

yang membelok di simpang dan/atau yang terhenti oleh lampu merah. Tundaan geometrik rata-rata suatu pendekat dapat ditentukan sebagai berikut :

$$DG_i = (1 - \rho_{sv})x\rho_\tau x6 + (\rho_{sv}x4) \dots\dots\dots(9)$$

di mana :

- DG = Tundaan geometri rata-rata pada pendekat (det/smp)
- P_{sv} =Rasio kendaraan terhenti pada suatu pendekat
- P_τ = rasio kendaraan membelok pada suatu pendekat.

Sehingga tundaan rata-rata untuk suatu pendekat i dapat dihitung sebagai :

$$D_j = DT_j + DG_j \dots\dots\dots(10)$$

di mana :

- D_j = Tundaan rata-rata untuk pendekat j (det/smp)

DT_j = Tundaan lalu lintas rata-rata untuk pendekat j (det/smp)
 DG_j = Tundaan geometri rata-rata untuk pendekat j (det/smp).

$$c = \left(\frac{1.5xLTI + 5}{1 - \sum FR_{crit}} \right) \dots\dots\dots(11)$$

2.6 Sinyal Lalu lintas (*Traffic Signal*)

Ada beberapa konsep dasar yang perlu untuk diketahui sehubungan dengan sinyal lalu lintas antara lain (Mc Shane dan Roess) :

- Fase sinyal, fase sinyal umumnya digunakan untuk mengurangi bahaya atau resiko kecelakaan lalu lintas dengan memisahkan pergerakan kendaraan di persimpangan. Akan tetapi dengan adanya fase tersebut akan mengurangi efesiensi dan menambah tundaan yang seringkali disertai dengan menambah jumlah fase.
- Dalam beberapa kasus dengan menambah jumlah fase justru akan menghasilkan tundaan yang lebih rendah dan dapat meningkatkan kapasitas.
- Suatu fase harus direncanakan dengan konsisten sesuai dengan geometrik simpang, fungsi tata guna lahan, volume dan kecepatan kendaraan dan *demand* penyeberangan jalan kaki (*pedestrian*).

Sinyal dengan dua fase merupakan fase yang paling umum digunakan dan mempunyai konsep yang sederhana. Akan tetapi jumlah fase sangat tergantung pada volume lalu lintas dan geometrik simpang. Biasanya sinyal dengan dua fase digunakan pada jalan dengan lebar 6 – 9 m (MKJI). Tiap jalan menerima satu fase dengan semua arah gerakan kendaraan dibolehkan termasuk belok kanan. Akan tetapi jika volume lalu lintas belok kanan cukup besar maka sebaiknya digunakan satu fase tersendiri. Makin lebar suatu jalan dan volume lalu lintasnya makin besar maka jumlah fasenya pun meningkat dan umumnya digunakan empat (4) fase.

- Waktu Sinyal (*Signal Timing*)
 Penentuan waktu sinyal untuk keadaan kontrol waktu tetap dilakukan berdasarkan metode Webster (1966) yaitu untuk meminimumkan total tundaan pada suatu simpang. Pertama-tama ditentukan waktu siklus (c), kemudian selanjutnya ditentukan waktu hijau (g_i) pada masing-masing fase.

Menurut MKJI (1997), waktu siklus (*cycle time*) dirumuskan:

di mana :
 c = waktu siklus sinyal (detik)
 LTI = jumlah waktu hilang persiklus (detik)
 FR = arus dibagi dengan arus jenuh (Q/S).
 FR_{crit} = Nilai FR tertinggi dari semua pendekat yang berangkat pada suatu fase sinyal.

$\sum(FR_{crit})$ = rasio arus simpang = jumlah FR_{crit} dari semua fase pada siklus tersebut.

Jika waktu siklus tersebut lebih kecil dari n ilai ini, maka ada resiko serius akan terjadinya leawt jenuh pada simpang tersebut. Waktu siklus yang terlalu panjang akan menyebabkan meningkatnya tundaan rata-rata. Jika nila $\sum(FR_{crit})$ mendekati atau lebih dari 1 (satu), maka simpang tersebut adalah lewat jenuh dan rumus tersebut akan menghasilkan nilai waktu siklus yang sangat tinggi.

Pada Tabel 3 terlihat waktu siklus (*cycle time*) yang disarankan untuk digunakan tergantung dari tipe pengaturan.

Tabel 3. Tipe pengaturan dan Jumlah Waktu Siklus

Tipe Pengaturan	Waktu siklus yang layak (detik)
Pengaturan dua fase	40 – 80
Pengaturan tiga fase	50 – 100
Pengaturan empat fase	80 – 130

Sumber : MKJI (1997)

Oleh MKJI (1997) waktu hijau (*green time*) dirumuskan sebagai berikut :

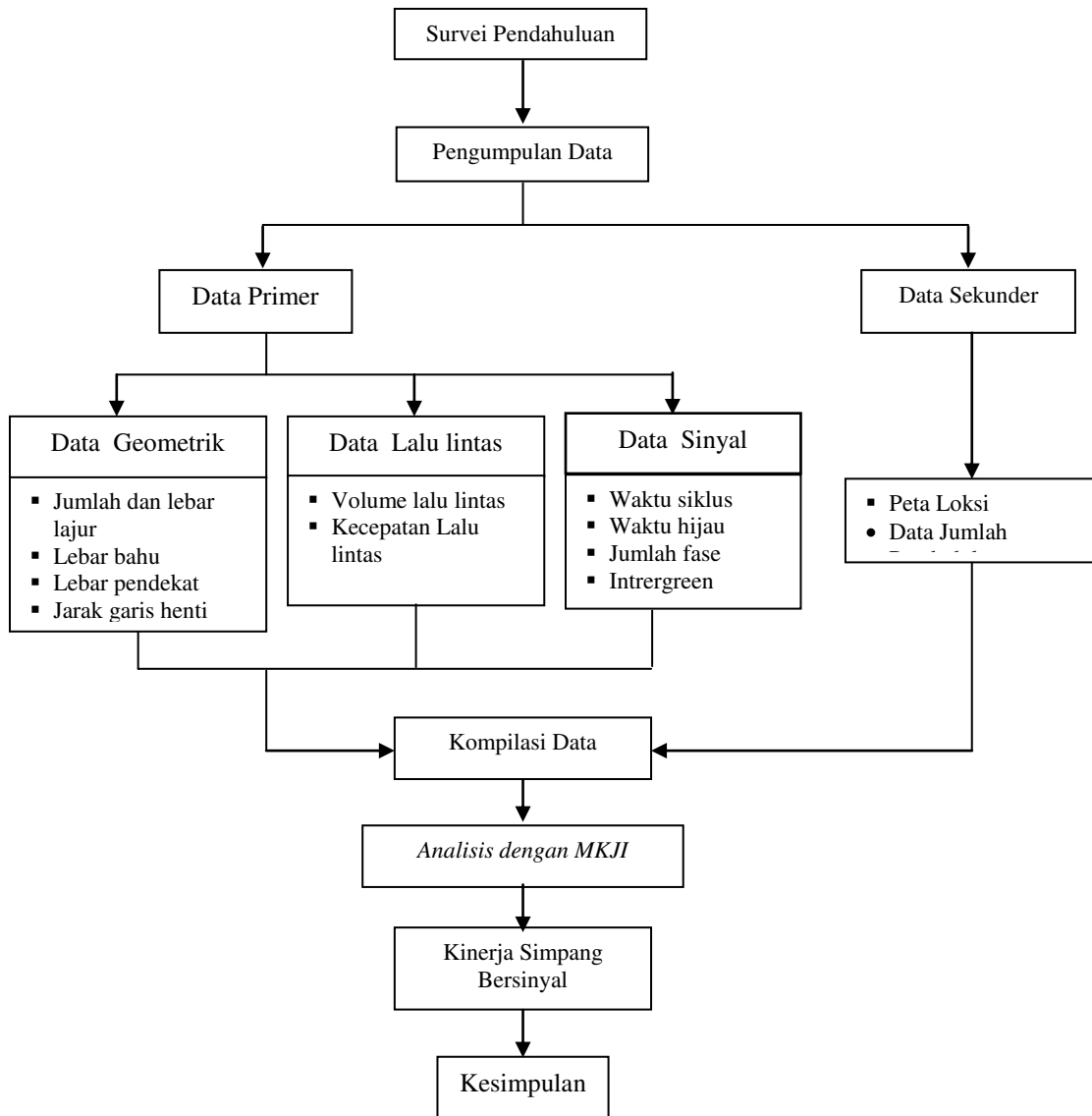
$$g_i = \frac{(c - LTI) x FR_{crit}}{\sum(FR_{crit})} \dots\dots\dots(12)$$

di mana :

g_i = tampilan waktu hijau pada fase i
(detik)
 c = waktu siklus (det)
 LTI = waktu hilang total per siklus
 FR_{crit} = Nilai FR tertinggi dari semua
 pendekatan yang berangkat pada
 suatu fase sinyal

3. Metode Penelitian

Agar penelitian ini bisa terlaksana dengan baik, maka terlebih dahulu dibuat kerangka penelitian seperti pada gambar 3 :



Gambar 3. Bagan Alir Program Kerja Penelitian

3.1 Pemilihan Lokasi

Alasan yang menjadi pertimbangan dalam memilih lokasi penelitian adalah bahwa simpang tersebut merupakan simpang bersinyal pada ruas jalan utama yang juga merupakan jalur keluar dari kota Palu. Alasan kedua bahwa persimpangan bersinyal tersebut dianggap mewakili persimpangan pada jalan-jalan utama yang ada di kota Palu, khususnya pada jalur perkantoran dan perdagangan.

3.2 Pelaksanaan Survey

Pelaksanaan survei untuk pengambilan data meliputi beberapa survey yaitu survei volume lalu lintas, survei geometrik jalan, survei setting lampu lalu lintas.

Survei volume lalu lintas dilakukan hanya selama satu hari yaitu pada hari kerja dengan tiga periode waktu pengamatan jam sibuk (*peak hour*) yaitu dua jam pagi (07.00 – 09.00), dua jam siang (11.30 – 13.30) dan dua jam sore (15.30 – 17.30).

Survei volume lalu lintas dilakukan secara manual yaitu dengan menggunakan beberapa tenaga surveyor pada setiap lengan persimpangan. Masing – masing lengan dicatat setiap jenis kendaraan yang lewat.

Survei *setting* lampu dilakukan dengan pengukuran langsung di masing– masing simpang dengan menggunakan *stop watch*. Pengukuran waktu lampu lalu lintas meliputi waktu hijau, amber, merah, waktu siklus dan pemfasean. Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali dan waktu yang dipakai adalah rata-rata dari ketiga pengukuran waktu tersebut. Survei lampu lalu lintas dilakukan pada jam-jam puncak, yaitu jam puncak pagi, jam puncak siang dan jam puncak sore

4. Hasil dan Pembahasan

Untuk melihat efektifitas penggunaan sistem dua fase pada simpang bersinyal digunakan indicator dari Panjang Antrian, Jumlah Tundaan Henti dan Tundaan Simpang rata-rata yang didasarkan atas metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI'97).

Dari hasil analisis dengan menggunakan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI'97) dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan standar MKJI'97, bahwa tingkat pelayanan simpang (LOS) bahwa pada jam puncak siang (12.00 – 13.00) merupakan tingkat pelayanan F sedang jam puncak sore dan siang berturut-turut adalah E dan C. Berdasarkan tabel 4 bahwa tundaan simpang rata-rata pada kondisi peak pagi, siang dan sore adalah masing-masing 20,73 detik/smp, 72,75 detik/smp dan 29,30 detik/smp.

Panjang antrian yang terjadi pada peak pagi, siang dan sore adalah 39 m, 75 m dan 71 m. Jumlah kendaraan terhenti rata-rata pada peak pagi 1,04 stops/smp, peak siang 2,29 stops/smp dan peak sore hari 2,02 stops/smp.

Dari ketiga waktu pengamatan tersebut, pada siang hari memberikan nilai tundaan yang terbesar dibanding dengan pagi dan sore hari. Hal ini disebabkan bahwa di daerah sekitar persimpangan terdapat bangunan sekolah.

Dari hasil analisa MKJI'97 untuk nilai derajat kejenuhan (DS) bahwa kondisi pendekatan arah Timur – Barat untuk setiap kondisi pengamatan peak pagi, siang dan sore memiliki derajat kejenuhan lebih besar 0,9 (sudah kritis), kecuali pada peak pagi arah barat hanya mempunyai DS sebesar 0,513 sedang pendekatan arah timur 0,982.

Tabel 4. Kinerja Simpang Bersinyal (Jl. Sudirman – Samratulangi – Hj. Hayyun – Cik Ditiro)

No	Waktu Pengamatan	Panjang Antrian (m)	Jumlah Henti Rata-rata/smp	Tundaan Simpang Rata-rata (det/smp)	LOS
1	Peak Pagi (08,00-09,00)	39	1.04	20.73	C
2	Peak Siang (12,00-13,00)	75	2.29	63.90	F
3	Peak Sore (16,00-18,00)	71	2.02	54.18	E

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan program KAJI, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Pada pagi hari, tundaan yang terjadi sebesar 20,73 det/smp (*level of service C*), siang hari tundaan yang terjadi sebesar 63,90 det/smp (*level of service F*) dan sore hari nilai tundaan diperoleh 54,18 det/smp (*Level of service E*)
- 2) Panjang Antrian rata-rata yang terjadi pada jam pucak pagi, siang dan sore adalah berturut-turut 38,73 m, 65,04 m dan 70,70 m.
- 3) Level of service pada jam puncak siang lebih kritis dibanding dengan pagi dan siang hari karena area di sekitar persimpangan merupakan kawasan sekolah (jam pulang sekolah).
- 4) Derajat Kejenuhan (DS) tertinggi terjadi pada pendekat jalan Hj Hayyun dan Cik Ditiro.

6. Daftar Pustaka

- Akcelik, (1981), *Traffic Signals : Capacity and Timing Analysis*, Australian Road Research Board, Research Report, Australia.
- Banks,James.H, (2002), *Introduction to Transportation Engineering*, 2nd edition, International Edition, Mc Grow Hill Inc, New York, NY 10020.
- Directorate of Urban Road Development (Binkot)* (1997), *Indonesian Highway Capacity Manual (IHCM)*,Swearoad and PT. Bina Karya (Persero), Jakarta.
- Dirjen Perhubungan Darat, Direktorat BSLLAK, (1999), *Rekayasa Lalu lintas*, Jakarta.
- Highway Capacity Manual (2000)*, Metric Units, Transportation Research Board (TRB), National Research Council Washington D.C.
- Institute of Transportation Engineers (1992), *Traffic Engineering Hand Book*, fourth edition, Printice-Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey 07362.
- May, Adolf.D (1990), *Traffic Flow Fundamentals*, Printice-Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey,07362.

Mc Shane.WR and Roess.RP (1990), *Traffic Engineering*, Printice-Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey,07362

Morlok,K.E (1995), *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*, Edisi ke-4 Erlangga, Jakarta.

Oglesby,Clarkson.H, (!982), *Highway Engineering*, 4 th Edition, Jhon Wiley and Sons, Inc

Tamin,O.Z (2000), *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*, Edisi Kedua, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung.

Webster, F. V. and Cobbe B.M. (1966), *Traffic Signals*, Road Research Technical Paper No. 56, Her Majesty's Stationery Office, London.