

DISERTASI

***COMBINING DIVERSITY UNTUK SINKRONISASI DAN
HIDDEN NODE PADA KOMUNIKASI VEHICLE AD HOC
NETWORK***

***Combining Diversity for Synchronization and
Hidden Node in Vehicular Ad Hoc Network***

RASNA

D053202005



**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU TEKNIK ELEKTRO
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

PENGAJUAN DISERTASI

COMBINING DIVERSITY* UNTUK SINKRONISASI DAN *HIDDEN NODE* PADA KOMUNIKASI *VEHICLE AD HOC NETWORK

Disertasi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor
Program Studi Ilmu Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh

**RASNA
D053202005**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



Optimized using
trial version
www.balesio.com

DISERTASI

COMBINING DIVERSITY UNTUK SINKRONISASI DAN ***HIDDEN NODE*** PADA KOMUNIKASI ***VEHICLE AD HOC NETWORK***

RASNA
D053202005

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Disertasi yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Doktor Ilmu Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 5 Februari 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,
Promotor



Prof. Dr. Indrabayu, S.T., M.T., M.Bus.Sys
NIP. 197507162002121004

Co-Promotor



Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T
NIP. 196910261994122001

Co-Promotor



Prof. Dr. Ir. Andani Achmad, M.T
NIP. 196012311987031022

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



g. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST.MT
9730926 200012 1 002

Ketua Program Studi
S3 Teknik Elektro



Prof. Dr. Ir. Andani A, M.T
NIP. 196012311987031022



Optimized using
trial version
www.balesio.com

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Rasna

Nomor mahasiswa : D053202005

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa, disertasi berjudul "*Combining Diversity* untuk Sinkronisasi dan *Hidden Node* pada Komunikasi *Vehicular Ad hoc Network*" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof. Dr. Indrabayu, S.T.,M.T., M.Bus.Sys sebagai Promotor, Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T sebagai co-promotor-1 dan Prof. Dr. Ir. Andani, M.T sebagai co-promotor-2. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka disertasi. Sebagian dari isi disertasi telah dipublikasikan IEEE di Prosiding 2023 *International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications* (ISITIA), dan DOI 10.1109/ISITIA59021.2023.10221105 sebagai artikel dengan judul "*Evaluation Performance of Contention Window on the Impact Hidden Node Vehicle to Vehicle*", kemudian "*Time Synchronization with MRC-EGC to Reduce Hidden Nodes in Vehicle Communication Network*" dan artikel dengan judul "*CW-MIMO to Reduce Hidden Nodes in Vehicle to Vehicle Communication Network*" yang telah ter-accepted dan sedang dalam proses publikasi di *The Intelligent Networks and Systems Society* (INASS) pada *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya ilmiah tulis saya berupa Disertasi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 23 Februari 2024
Yang menyatakan



iv



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmanya sehingga disertasi dengan judul “**COMBINING DIVERSITY UNTUK SINKRONISASI DAN HIDDEN NODE PADA KOMUNIKASI VEHICULAR AD HOC NETWORK**” dapat penulis susun dan selesaikan dengan baik. Penanganan masalah *hidden node* di komunikasi *vehicle to vehicle* sangat penting dalam desain dan implementasi sistem komunikasi VANET untuk memastikan komunikasi yang efisien dan handal di antara kendaraan yang bergerak di lingkungan yang kompleks.

Bukan hal yang mudah untuk mewujudkan gagasan-gagasan tersebut dalam sebuah susunan disertasi, berkat bimbingan, arahan dan motivasi berbagai pihak maka disertasi ini bisa disusun sebagaimana kaidah-kaidah yang dipersyaratkan dan untuk itu penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Rektor Universitas Hasanuddin, Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., Dekan Fakultas Teknik, Bapak Prof. Dr.Eng Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT., IPM., ASEAN Eng., Ketua Departemen Teknik Elektro, Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT., IPM, Ketua Program Studi S3 Teknik Elektro, Bapak Prof. Dr. Ir. H. Andani Achmad, MT dan seluruh dosen serta staf S3 program studi Teknik Elektro yang telah memberikan dukungan dan layanan terbaik selama proses studi
2. Prof. Dr. Indrabayu, S.T.,M.T., M.Bus.Sys sebagai promotor, Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T sebagai co-promotor-1 dan Prof. Dr. Ir. Andani, M.T sebagai co-promotor-2 yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing dan memberi saran yang konstruktif sehingga disertasi ini dapat tersusun dengan baik dan terstruktur.
3. Dr.Ir.. Hasniaty A, ST., M.T, Dr. Merna Baharuddin, ST.M.Tel.Eng, Prof. rdiati Arief, ST.MTM.Ph.D, dan Dr.Eng. Wardi, S.T, M.Eng, sebagai komisi n penguji yang telah berkontribusi dalam memberikan saran dan masukan untuk penyusunan disertasi.



4. Bapak Prof. Dr. Ir. Dadang Gunawan., M. Eng selaku dosen penguji eksternal dari Universitas Indonesia yang telah meluangkan waktu dan memberi saran yang konstruktif sehingga disertasi ini dapat tersusun dengan baik.
5. Saya menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan Disertasi ini dapat diselesaikan berkat dukungan dari berbagai pihak, oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :
 - PJ. Gubernur Papua (Dr. M. Ridwan Rumasukun, SE, MM).
 - Kapolda Papua (Irjen Pol. Mathius Fakhiri, SIK).
 - Kepala Badan Pengelolaan Keuangan dan Asset Daerah Provinsi Papua Selatan (Dr. Mansur, MM).
 - Rektor Universitas Yapis Papua, (Dr. Muhdi B. Ibrahim, MM).
 - Bapak Wakil Rektor III Univesitas Sains dan Teknologi Jayapura (Dr. Drs. M. Rusdianto Abu, M.Si).
 - Kepala Dinas Kominfo Kabupaten Jayapura (Gustaf Griapon, ST., M.Sos).
 - Ketua DPRD Kota Jayapura (Abisai Rollo, SH., MH).
 - Ketua DPD KNPI Provinsi Papua (Benyamin Gurik, S.IP).
 - Sekretaris DPD KNPI Provinsi Papua (Semmi Kogoya, S.Ak).
 - Ketua KAHMI Provinsi Papua (Mufli MUSAAD, SE., M.Si).
 - Ketua Aptikom Papua, (Rizkial Achmad, S.Kom., MT).
6. Para sahabat, teman seangkatan S3 Elektro UNHAS dan seluruh Mahasiswa S3 Teknik Elektro UNHAS. Terima kasih atas bantuan dan dukungannya selama ini.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada suami tercinta, anak-anak tersayang, kedua (almarhum) orang tua tercinta saya, dan keluarga besar atas doa, pengorbanan dan motivasi selama saya menempuh Pendidikan. Meskipun dalam penyusunan dan penulisan disertasi ini penulis telah berusaha maksimal namun tidak menutup kemungkinan masih terdapat berbagai kekurangan baik dari aspek penulisan subtansinya. Oleh karena itu saran, masukan dan kritik yang membangun penulis harapkan demi perbaikan ke arah yang lebih baik lagi.



Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan mohon maaf atas segala kekurangan yang ada. Semoga rahmat Tuhan Yang Maha Esa selalu menyertai kita semua.

Gowa, 23 Februari 2024

Penulis



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRAK

RASNA *Combining Diversity* untuk Sinkronisasi dan *Hidden Node* pada Komunikasi *Vehicular Ad hoc Network* (dibimbing oleh **Indrabayu, Dewiani, Andani Achmad**).

Meningkatnya jumlah kendaraan di daerah seperti Makassar telah menimbulkan kekhawatiran serius terkait polusi udara, kemacetan lalu lintas, dan tingginya risiko kecelakaan. Oleh karena itu, penggunaan teknologi inovatif seperti *Vehicular Ad Hoc Network* (VANET) dan teknologi *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) menjadi sangat penting untuk meningkatkan efisiensi transportasi dan keselamatan.

Penelitian ini bertujuan mengkaji masalah *hidden node* dalam komunikasi *Vehicle to Vehicle* (V2V) melalui pendekatan sinkronisasi waktu *combining diversity*. Masalah *hidden node* terjadi ketika satu kendaraan tidak dapat mendeteksi transmisi dari kendaraan lain karena halangan fisik atau interferensi jarak dalam saluran komunikasi. Metode *Ordinary Kriging* digunakan untuk menentukan korelasi spasial sinyal dari kendaraan sekitar. Penelitian ini menguji efektivitas protokol CSMA/CA dan RTS/CTS dalam mengatasi masalah *hidden node*. Hasilnya menunjukkan setelah dilakukan sinkronisasi dengan *combining diversity*, skenario tanpa *hidden node*, *throughput* mencapai 18,21 Mbps dan *throughput* mengalami penurunan 17,38 Mbps. *End to End Delay* dalam kondisi tanpa *hidden node* mencapai 3,06 s, kemudian kondisi terdapat *hidden node* mencapai 4,02 s. *Packet Delivery Ratio* mencapai 91,05% pada kondisi tanpa *hidden node*, sedangkan pada kondisi terdapat *hidden node* PDR menurun menjadi 86,9%. Kemudian sinkronisasi waktu dengan *combining diversity* untuk komunikasi V2V memperoleh hasil persentase penurunan *probabilitas error* (BER) mencapai 0.1%.

Kata kunci : V2V, *hidden node*, *combining diversity*, MIMO, *contention window*



ABSTRACT

RASNA Combining Diversity for Synchronization and Hidden Nodes in Vehicular Ad Hoc Network Communication (dibimbing oleh **Indrabayu, Dewiani, Andani Achmad).**

The increasing number of vehicles in areas such as Makassar has raised serious concerns regarding air pollution, traffic congestion, and the high risk of accidents. Therefore, innovative technologies such as Vehicular Ad Hoc Network (VANET) and Multiple Input Multiple Output (MIMO) technology have become very important to improve transportation efficiency and safety.

This research aims to study the hidden node problem in Vehicle-to-vehicle (V2V) communication through a combining diversity time synchronization approach. The hidden node problem occurs when one vehicle cannot detect transmissions from another vehicle due to physical obstructions or distance interference in the communication channel. The ordinary Kriging method determines the spatial correlation of signals from surrounding vehicles. This research tests the effectiveness of CSMA/CA and RTS/CTS protocols in overcoming the hidden node problem. The results show that after synchronization with combining diversity, the scenario without hidden nodes reached 18.21 Mbps, and throughput decreased by 17.38 Mbps. The end-to-end delay in the condition without hidden nodes reached 3.06 s, and the condition with hidden nodes reached 4.02 s. The Packet Delivery Ratio reached 91.05% in the condition without hidden nodes, while in the condition with hidden nodes, PDR decreased to 86.9%. Then, time synchronization with diversity combined for V2V communication resulted in a percentage decrease in probability error (BER), reaching 0.1%.

Keywords : V2V, hidden node, combining diversity, MIMO, contention window



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PENGAJUAN DISERTASI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR ARTI SINGKATAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	11
I.3 Tujuan Penelitian	11
I.4 Batasan Masalah.....	12
I.5 Manfaat Penelitian	12
I.6 Ruang Lingkup Penelitian.....	13
BAB II KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN	14
II.1 Kerangka Konseptual	14
II.1.1 <i>State of the art</i>	17
II.1.2 Tahapan penelitian.....	21
II.1.3 Jenis penelitian.....	22
II.1.4 Sumber data	23
II.1.5 Instrumen penelitian	35
II.2 Hipotesis Penelitian.....	37
II.3 <i>Link Budget V2V</i> untuk area simulasi	40
BAB III Evaluasi Kinerja <i>Contention Window</i> terhadap Dampak <i>Hidden Node</i> di Komunikasi V2V	48
III.1 Abstrak	48
III.2 Pendahuluan	48
III.3 Metodologi	52
III.3.1 Model sistem usulan	52
III.3.2 Algoritma deteksi hidden node berdasarkan <i>map</i>	54
III.3.3 CSMA/CA	67
III.3.4 RTS/CTS	68
III.3.5 <i>Throughput</i>	69
III.3.6 Radius <i>hidden node</i>	70



III.4	Hasil dan Pembahasan	70
III.5	Kesimpulan.....	77
BAB IV CONTENTION WINDOW-MIMO UNTUK MENGURANGI <i>HIDDEN NODE</i> PADA KOMUNIKASI JARINGAN V2V		80
IV.1	Abstrak	80
IV.2	Pendahuluan	80
IV.3	Metodologi	83
IV.4	Hasil dan Pembahasan	93
IV.5	Kesimpulan.....	99
BAB V SINKRONISASI WAKTU DENGAN MRC-EGC UNTUK MENGURANGI <i>HIDDEN NODE</i> DI KOMUNIKASI JARINGAN V2V .		101
V.1	Abstrak	101
V.2	Pendahuluan	101
V.3	Sinkronisasi Waktu dengan Antena <i>Diversity</i>	106
V.4	Hasil Simulasi dan Evaluasi.....	116
BAB VI PEMBAHASAN UMUM		130
VI.1	<i>Contention Window</i> -MIMO pada Komunikasi Jaringan <i>Vehicle Ad Hoc Network</i>	131
VI.2	Sinkronisasi Waktu dengan MRC-EGC untuk mengurangi <i>hidden node</i> di Komunikasi Jaringan V2V	131
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN.....		132
DAFTAR PUSTAKA		133
LAMPIRAN.....		143



DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
Tabel 1 <i>State of the art</i> penelitian terkait.....	17
Tabel 2 Kapasitas volume lalu lintas Tahun 2019	27
Tabel 3 Parameter simulasi mobilitas V2V (SUMO)	30
Tabel 4 Parameter simulasi mobilitas V2V di Omnet 5.6.2 (VEINS)	30
Tabel 5 Rumusan hipotesis dan penelitian terkait	38
Tabel 6 Parameter <i>link budget</i>	40
Tabel 7 Pengaturan <i>Netconvert</i> sesuai <i>scenario</i> penelitian	56
Tabel 8 Variasi kecepatan kendaraan	63
Tabel 9 Parameter Simulasi.....	71
Tabel 10 Parameter Simulasi MIMO PHY/MAC V2V	94
Tabel 11 Parameter simulasi penyesuaian <i>Contention Window</i>	107
Tabel 12 Parameter simulasi	117
Tabel 13 Perbandingan metode yang diusulkan dengan metode yang sudah ada untuk masalah <i>hidden node</i> V2V	121



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
Gambar 1 <i>Hidden node</i> pada komunikasi antar kendaraan	4
Gambar 2 (a) Masalah <i>Hidden Node</i> , (b) Mekanisme RTS/CTS, (c) Mekanisme CSMA/CA.....	4
Gambar 3 <i>Blocking Problem</i>	6
Gambar 4 Perbandingan <i>hidden node</i> komunikasi unicast dan komunikasi <i>broadcast</i> (a) <i>Unicast</i> (b) <i>Broadcast</i>	7
Gambar 5 Kerangka konseptual	14
Gambar 6 Tahapan penelitian.....	22
Gambar 7 Tahap pengambilan data	24
Gambar 8 <i>OpenStreetMap</i> Wilayah Makassar, Indonesia.....	25
Gambar 9 Rute pengiriman dan rute tujuan selama simulasi di Jl. Pettarani dan Jl. Hertasning Makassar, Jl. Boulevard, Jl Pengayoman dan Jl. Alauddin Makassar.....	28
Gambar 10 Konektifitas <i>traffic light</i> (a) Hertasning-Boulevard (b) Hertasning-Pettarani.....	29
Gambar 11 <i>Input</i> parameter simulasi (SUMO-Netedit)	31
Gambar 12 <i>Input</i> parameter simulasi Omnet ++ (Veins Inet).....	32
Gambar 13 <i>Source code</i> penentuan parameter IEEE 802.11p untuk melacak <i>transceiver</i> dan <i>receiver</i>	32
Gambar 14 <i>Source code transceiver</i> dan <i>receiver</i>	33
Gambar 15 Parameter PHY Layer untuk simulasi	33
Gambar 16 <i>Source code Physical environment</i> PHY layer V2V	34
Gambar 17 <i>Source code</i> koordinat geografis simulasi <i>hidden node</i> V2V.....	34
Gambar 18 <i>Source code</i> hambatan pada PHY <i>environment</i>	34
Gambar 19 Konfigurasi area simulasi	34
Gambar 20 <i>Source code</i> untuk menambahkan hambatan dinding pada simulasi.....	35
Gambar 21 Kebutuhan sistem perangkat lunak pendukung	36
Gambar 22 Model simulasi dengan <i>framework layer</i>	37
Gambar 23 Model hipotesis.....	37
Gambar 24 <i>Flowchart</i> deteksi <i>hidden node</i> yang disebabkan oleh MAC layer	46
Gambar 25 <i>Hidden node</i>	51
Gambar 26 Model sistem usulan	53
Gambar 27 Algoritma <i>hidden node</i> di sistem model V2V	55
Gambar 28 <i>Hidden node</i> di sistem model V2V.....	55
Gambar 29 Hasil konversi peta dari file .osm menjadi format.net.xml.....	56
Gambar 30 <i>Source code</i> typemap.xml.....	57
Gambar 31 <i>Source code</i> random trips V2V	57
Gambar 32 <i>Source code</i> –trip attributes	57
Gambar 33 Peta konversi (a) Jl. Boulevard -Jl. Pengayoman (b) Jl. Hertasning (c) Jl. (d) Jl. Alauddin	58
Gambar 34 <i>Source code</i> generate peta.....	58
Gambar 35 Alur pembuatan scenario realistis.....	59



Gambar 36 Proses input penyesuaian kondisi real konektivitas di Jl Boulevard-pengayoman (b) Jl. Hertasning (c) Jl. Pettarani (d). Jl. Alauddin di SUMO	60
Gambar 37 <i>Source code</i> konversi peta simulasi.....	61
Gambar 38 <i>Source code</i> rute perjalanan secara random.....	61
Gambar 39 <i>Source code</i> modifikasi rute map boulevard	61
Gambar 40 Konfigurasi SUMO di area penelitian	62
Gambar 41 Simulasi mobilitas kendaraan di wilayah Pettarani-Hertasning	62
Gambar 42 Konfigurasi kecepatan kendaraan sesuai kondisi nyata.....	63
Gambar 43 <i>Source code</i> pembacaan rute kendaraan dari titik awal ke titik akhir node	64
Gambar 44 Algoritma Dijkstra	64
Gambar 45 <i>Source code</i> .sumocfg.....	65
Gambar 46 <i>Source code</i> lokasi kendaraan secara acak	66
Gambar 47 Algoritma CSMA/CA.....	68
Gambar 48 Algoritma RTS/CTS	69
Gambar 49 <i>Throughput</i> berdasarkan jumlah kendaraan dengan mekanisme RTS/CTS dan CSMA/CA	72
Gambar 50 <i>Throughput</i> (T) berdasarkan kecepatan kendaraan di daerah perkotaan dengan mekanisme RTS/CTS dan CSMA/CA	73
Gambar 51 <i>Hidden node</i> berdasarkan lokasi kendaraan $Z(x_0, y_0)$ di wilayah jalan raya.....	74
Gambar 52 <i>Hidden node</i> berdasarkan lokasi kendaraan $Z(x_0, y_0)$ di wilayah perkotaan	75
Gambar 53 Radius <i>Hidden node</i> berdasarkan jumlah kendaraan ($Radius_{hn}$)	76
Gambar 54 <i>End to End delay</i> berdasarkan jumlah kendaraan dengan mekanisme RTS/CTS dan CSMA/CA	77
Gambar 55 Model kombinasi CW-MIMO berdasarkan lapisan MAC	85
Gambar 56 Prosedur <i>Backoff</i> dengan Rantai Markov 3D	89
Gambar 57 Kombinasi CW-MIMO berdasarkan lapisan MAC.....	94
Gambar 58 Potensi transmisi didasarkan pada batas retransmisi CW	95
Gambar 59 Kecepatan transmisi data berdasarkan jumlah kendaraan dengan kondisi terdapat <i>hidden node</i>	96
Gambar 60 Evaluasi kinerja penundaan RTS/CTS, CSMA/CA, dan MIMO	98
Gambar 61 Perbandingan <i>output</i> pada mekanisme RTS/CTS, CSMA/CA dasar dan yang diusulkan	99
Gambar 62 Langkah-langkah mekanisme sinkronisasi waktu, <i>combining diversity</i> , CSMA/CA, RTS/CTS.....	106
Gambar 63 Proses Inisialisasi posisi awal kendaraan, kecepatan dan atribut kendaraan	108
Gambar 64 Penggabungan sinyal yang diterima untuk sinkronisasi waktu dengan antena di komunikasi V2V	114
65 Perbandingan kinerja rata-rata <i>delay</i> RTS/CTS, CSMA/CA dan MIMO	118
66 Perbandingan kinerja E2E <i>delay</i> untuk mekanisme RTS/CTS, A, dan MIMO <i>Combining Diversity</i>	118



Gambar 67 Variasi *throughput* berdasarkan jumlah kendaraan dengan mekanisme RTS/CTS *basic* dan RTS/CTS *combining diversity*. 119

Gambar 68 Variasi *throughput* berdasarkan jumlah kendaraan dengan mekanisme CSMA/CA *basic* dan CSMA/CA *Combining diversity*. 120

Gambar 69 Perbandingan kinerja *throughput* RTS-CTS, CSMA/CA dengan MIMO *Combining Diversity* 120

Gambar 70 BER berdasarkan Probabilitas *Error* dan rata-rata SNR dalam sinkronisasi waktu 122

Gambar 71 Perbandingan metode untuk mekanisme kinerja *throughput* pada RTS/CTS dan CSMA/CA 124

Gambar 72 Perbandingan metode untuk mekanisme kinerja E2E *delay* pada RTS/CTS & CSMA/CA 125

Gambar 73 Perbandingan metode untuk mekanisme kinerja PDR pada RTS/CTS dan CSMA/CA 126

Gambar 74 Grafik keuntungan dari masing-masing metode terhadap masalah *hidden node* 128



DAFTAR LAMPIRAN

Data simulasi V2V	143
Data lalu lintas di hari kerja	155
Data lalu lintas di hari libur	156



DAFTAR ARTI SINGKATAN

Singkatan	Arti dan keterangan
ACK	= <i>Acknowledgement</i>
AFCS	= <i>Analog Feedback Communication Systems</i>
ART	= <i>Adaptive Receiver Transmission</i>
ASDTMAC	= <i>Active Signalling based Data Transfer Medium Access Control</i>
AWGN	= <i>Additive White Gaussian Noise</i>
BER	= <i>Bit Error Rate</i>
BSM	= <i>Basic Safety Message</i>
CB-MAC	= <i>Cluster Based Medium Access Control</i>
CSMA/CA	= <i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i>
CTS	= <i>Clear to Send</i>
CUV	= <i>Connected Unmanned Vehicle</i>
CW	= <i>Contention Window</i>
DCF	= <i>Distributed Coordination Function</i>
DIFS	= <i>Distributed Inter Frame Space</i>
DSRC	= <i>Dedicated Short Range Communication</i>
DTMC	= <i>Discrete Time Markov Chain</i>
DUCHA	= <i>Dual Channel</i>
E2E	= <i>End to End</i>
EGC	= <i>Equal Gain Channel</i>
ELM	= <i>Extreme Learning Machine</i>
FD	= <i>Full Duplex</i>
GAC	= <i>Global Authentication Center</i>
GHz	= <i>Gigahertz</i>
	= <i>Global Navigation Satellite System</i>
	= <i>Graphical User Interface</i>
	= <i>Institute of Electrical Electronics Engineers</i>



IoT	=	<i>Internet of Things</i>
ITS	=	<i>Intelligent Transportation System</i>
LAC	=	<i>Local Authentication Center</i>
J _{csma}	=	<i>Jangkauan CSMA</i>
LFM	=	<i>linear frequency modulation</i>
LTE	=	<i>Long Term Evolution</i>
m	=	<i>Meter</i>
m/s	=	<i>Meter/second</i>
M2M	=	<i>Machine to Machine</i>
MAC	=	<i>Medium Access Control</i>
Mbps	=	<i>Mega bit per second</i>
MCS	=	<i>Modulation and Coding Schemes</i>
MGF	=	<i>Moment generating function</i>
MHz	=	<i>Mega Hertz</i>
MIMO	=	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
MRC	=	<i>Maximum Ratio Combining</i>
MRT	=	<i>Multiple Receiver Transmission</i>
N	=	<i>Node</i>
NAV	=	<i>Network Allocation Vector</i>
OFDMA	=	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
OMNET	=	<i>Objective Modular Network Testbed</i>
OSM	=	<i>Open Street Map</i>
PCS	=	<i>Physical carrier sensing</i>
PDR	=	<i>Packet Delivery Ratio</i>
PHY	=	<i>Physical Layer</i>
PRAB	=	<i>Packet Rate Adaptation Bloom</i>
PRD	=	<i>Packet Delivery Delay</i>
	=	<i>Packet Reception Interval</i>
	=	<i>Packet Reception Probability</i>
	=	<i>Quality of Service</i>



QPSK	=	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
RL	=	<i>Retry Limit</i>
RSU	=	<i>Road Side Unide</i>
RTS/CTS	=	<i>Request to Send / Clear to Send</i>
Rx	=	<i>Receiver</i>
SC	=	<i>Selection Combining</i>
SIFS	=	<i>Short Inter Frame Space</i>
SINR	=	<i>Signal to Interference Plus Noise Ratio</i>
smp/jam	=	<i>Satuan mobil penumpang/jam</i>
SNR	=	<i>Signal to Noise Ratio</i>
SUMO	=	<i>Simulation of Urban Mobility</i>
TAS	=	<i>Transmit Anttena Selection</i>
TPA	=	<i>Transmit Power Adaptation</i>
Tx	=	<i>Transmit</i>
UAV	=	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
UDP	=	<i>User Datagram Protocol</i>
V2I	=	<i>Vehicle to Infrastructure</i>
V2V	=	<i>Vehicle to Vehicle</i>
V2X	=	<i>Vehicle to Everything</i>
VANET	=	<i>Vehicular Ad Hoc Network</i>
VEINS	=	<i>Vehicles in Network Simulation</i>
WiFi	=	<i>Wireless Fidelity</i>
ZF	=	<i>Zero Forcing</i>



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jumlah kendaraan per tahun yang semakin meningkat menimbulkan permasalahan yaitu polusi dan kemacetan yang menyebabkan tingginya kecelakaan lalu lintas. Khusus untuk di Makassar jumlah kendaraan bertambah dari 1.425.150 menjadi 1.563.608 antara 2016 dan 2018 atau 3-7% per tahun dan meningkat menjadi 1.632.837 pada akhir tahun 2019 (Basri Said dan Syafey, 2021).

Intelligent Transportation System (ITS) membantu mengurangi dampak kemacetan maupun kecelakaan lalu lintas (Farman *dkk.*, 2022). ITS merupakan sistem transportasi cerdas dengan menggabungkan sistem transportasi dengan teknologi informasi agar dapat meningkatkan aksesibilitas maupun efisiensi keamanan transportasi. Misalnya, informasi transportasi dan perjalanan dapat dilihat dalam *smart city*, komunikasi *Machine to Machine* (M2M), *Internet of Things* (IoT), dan *Vehicular Adhoc Network* (VANET). ITS menyediakan layanan inovatif yang berkaitan dengan berbagai mode transportasi dan manajemen lalu lintas dan memungkinkan pengguna yang berbeda untuk mendapatkan informasi yang lebih baik dan menjadikan penggunaan jaringan transportasi lebih aman, terkoordinasi dan lebih cerdas.

VANET merupakan jaringan *ad hoc* yang dapat digunakan untuk berkomunikasi antara kendaraan satu dengan kendaraan lain (Faris dan Yazid, 2019). VANET memungkinkan kendaraan pintar untuk secara langsung bertukar pesan terkait informasi keselamatan, informasi non keselamatan seperti lokasi, arah gerakan dan kecepatan (AlMarshoud, Al-Bayatti dan Kiraz, 2022). Selain aplikasi keselamatan jalan, manfaat lainnya dengan kendaraan pintar yaitu peningkatan dalam manajemen lalu lintas jalan yang akan menghemat ekonomi dalam miliaran dolar, melalui iklim yang positif karena emisi karbon, konsumsi bahan bakar dan jam kerja yang dikarenakan kemacetan lalu lintas (Hoffman, 2005).



Komunikasi V2V adalah transmisi data nirkabel antar kendaraan yang bertujuan untuk menghindari kecelakaan dengan memungkinkan kendaraan yang mengirimkan data kecepatan dan posisi kendaraan melalui jaringan *ad hoc*. V2V penting di negara-negara berkembang karena infrastruktur yang buruk, kapasitas *internet* dan jaringan yang rendah, area tak berpenghuni yang luas dan meluasnya pencurian properti umum yang menyebabkan tidak dipasangnya *Road Side Unit* (RSU) di jalan raya. Untuk mengevaluasi jaringan V2V beberapa kinerja sangat penting seperti *delay*, jumlah *hop*, upaya transmisi ulang, dan *throughput*.

Dalam beberapa tahun terakhir, industri manufaktur mobil, akademisi dan lembaga pemerintah mulai menempatkan beberapa upaya untuk mewujudkan konsep komunikasi kendaraan dalam skala luas. Komunikasi VANET bergantung pada pertukaran pesan langsung antara kendaraan, infrastruktur dan pengguna jalan. Setiap node terhubung secara nirkabel dan memungkinkan dari jarak 100 meter – 300 meter terhubung dan bertukar informasi. Teknologi DSRC (WiFi IEEE 802.11p) dalam komunikasi kendaraan digunakan untuk aplikasi keselamatan dan aplikasi non keselamatan. *Bandwidth* yang dialokasikan sebesar 75 MHz dengan spectrum 5.9 GHz (Choi *dkk.*, 2019; Shimizu *dkk.*, 2020). Salah satu batasan teknologi DSRC adalah dalam hal jangkauan. Akses internet yang dibutuhkan didalam kendaraan melalui *gateway* DSRC hanya berada di cakupan wilayah yang kecil, dan komunikasi hanya terjadi dalam waktu yang singkat. Penelitian (Abboud, Omar dan Zhuang, 2016) juga menunjukkan bahwa kinerja DSRC menurun pada kondisi padat kendaraan, yang mengakibatkan penurunan *throughput* dan *delay* meningkat.

Protocol komunikasi IEEE 802.11p untuk komunikasi VANET mengkoordinasikan akses node ke media transmisi melalui *Medium Control Access* (MAC). Kurangnya protocol untuk mengkoordinasikan transmisi data dari banyak kendaraan membuat transmisi pada VANET rawan *collision*. Hal ini mengakibatkan *collision* pada transmisi meningkat dan penerimaan paket bebas kesalahan menjadi

lit. Kemungkinan *collision* transmisi meningkat secara drastis karena jumlah n bersaing untuk mengakses saluran nirkabel. Sehingga, dalam sistem asi untuk aplikasi keselamatan jalan, setiap kendaraan perlu untuk melakukan



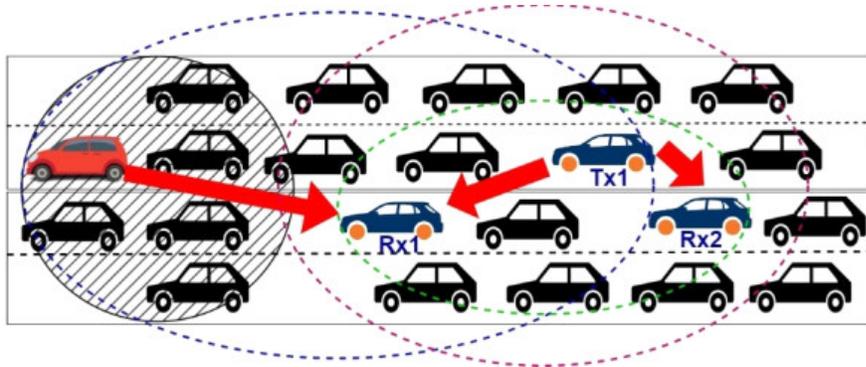
broadcast status secara berkala setidaknya dalam setiap 100 ms (Lyu dkk., 2021). Transmisi mengalami *collision* meningkat karena tidak adanya pusat *control* sehingga dapat mengurangi kehandalan VANET terutama pada jam sibuk. Selain itu aplikasi komunikasi nirkabel mengalami penurunan kualitas layanan (QoS) yang disebabkan oleh variasi *interferensi* karena mobilitas *node*, *channel noise*, dan *collision* paket yang dapat memperburuk QoS VANET dan dapat menyebabkan hilangnya paket keamanan. Aplikasi jaringan kendaraan lainnya adalah kendaraan dapat mengunduh file peta, audio atau video dengan persyaratan kualitas layanan (QoS) tertentu dari *Road Side Unit* (RSU). Dengan demikian, untuk meningkatkan keandalan pengiriman paket di VANET, teknik pemulihan kesalahan untuk mengurangi paket yang hilang dalam jaringan kendaraan menjadi penting.

DSRC menggunakan IEEE 802.11p terdiri dari *physical* (PHY) *layer* dan *medium access control* (MAC) *layer*. *PHY layer* didasarkan pada modulasi *orthogonal frequency division multiplexing* (OFDM), sedangkan di MAC *layer* untuk memperbaiki komunikasi *overhead*. MAC *layer* di IEEE 802.11p menggunakan skema akses dasar yaitu *Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance* (CSMA/CA). Mekanisme CSMA/CA dalam menghindari *collision* untuk mengakses channel menggunakan *Distributed Coordination Function* (DCF) (Rehman dkk., 2022; Sheng dkk., 2022). Selain itu komunikasi kendaraan terdapat *Basic Safety Message* (BSM) yaitu pesan yang berisi status, posisi dan informasi pergerakan (Sun dkk., 2019). Karena pemancar menyiarkan BSM ke semua kendaraan tetangga maka pemancar tidak bisa mendapatkan konfirmasi penerimaan dari penerima. Hal ini menjadi salah satu penyebab penurunan kinerja di IEEE 802.11p yaitu *hidden node* (Noor-A-Rahim dkk., 2018). 802.11p menggunakan mekanisme *request to send/clear to send* untuk mengurangi permasalahan *hidden node*. Namun, mekanisme RTS/CTS tidak dapat diterapkan dalam komunikasi *broadcast* karena komunikasi *broadcast* tidak dapat menerima CTS dari semua penerima secara individual. *Node* yang terletak di dalam



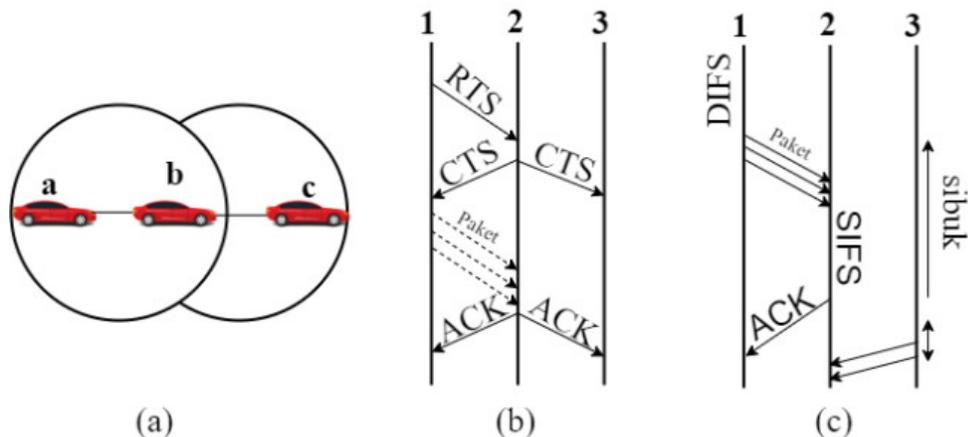
n saluran penerima tetapi berada diluar jangkauan pemancar disebut *hidden* seperti pada Gambar 1, *node* Tx-1 mentransmisikan paket BSM. Penerima Rx-2 dalam jangkauan komunikasi *node* Tx-1 diharapkan dapat menerima paket

yang ditransmisikan. Namun jika *node* (area yang diarsir) mulai mentransmisikan paket pada saat yang sama, penerima Rx-1 mungkin tidak menerima paket dengan benar. Oleh karena itu, *node* di area yang diarsir adalah *hidden node* untuk Rx-1. Oleh karena itu semua penerima paket mengalami masalah *hidden node*. Masalah lain adalah tidak adanya ACK untuk paket *broadcast* dan rentan periode yang lebih lama dari komunikasi *unicast* (Cheng dkk., 2019).



Gambar 1 *Hidden node* pada komunikasi antar kendaraan

Pada Gambar 2(a), lingkaran berarti jangkauan transmisi masing-masing *node*, sehingga *collision* mungkin terjadi pada *node* 2, jika *node* 1 dan *node* 3 melakukan pengiriman pesan secara bersamaan. Kondisi *hidden node* terjadi saat mekanisme CSMA/CA sehingga untuk mengatasi permasalahan ini IEEE 802.11p mengimplementasikan mekanisme RTS/CTS.



ar 2 (a) Masalah Hidden Node, (b) Mekanisme RTS/CTS, (c) Mekanisme CSMA/CA



Gambar 2 (b) mengilustrasikan mekanisme RTS.CTS. *Node* 1 mengirim paket data ke *node* 2. *Node* 1 akan mengikuti mekanisme CSMA/CA yaitu memastikan media dalam keadaan diam, kemudian mengirim RTS ke *node* 2. Saat menerima RTS, *node* 2 akan membalas CTS ke *node* 1. Setelah menerima CTS, *node* 1 akan mengirimkan paket data ke *node* 2. Jika *node* 2 menerima paket data dengan benar, maka *node* 2 akan mengirimkan ACK ke *node* 1. Setiap *node* yang mendengar RTS atau CTS dilarang mentransmisikan sinyal apapun selama durasi waktu. Durasi waktu RTS dan CTS diatur sedemikian rupa sehingga *node* 1 dan 2 akan dapat menyelesaikan komunikasi. Periode waktu tersebut dinamakan *Network Allocation Vector* (NAV). Sehingga jika *node* kendaraan tidak dapat merespon RTS atau paket data maka masuk ke mode *backoff eksponensial*.

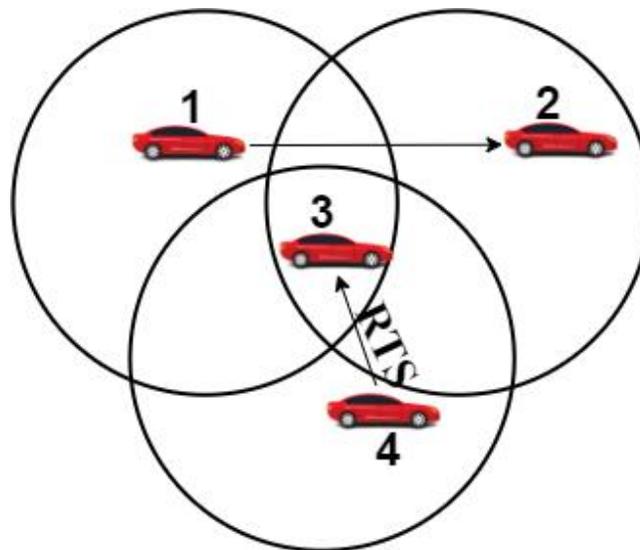
Penggunaan CSMA/CA seperti terlihat pada Gambar 2(c) di komunikasi kendaraan yaitu sebuah *node* akan mengirimkan paket data, jika *node* merasakan saluran tidak aktif. *Node* penerima, setelah menerima sebuah paket akan mengembalikan pesan ACK. Jika *node* pengirim tidak mendapatkan pesan ACK, maka status *node* pengirim masuk ke periode mundur dan akan melakukan transmisi ulang setelah periode tersebut.

Kapasitas saluran yang terbatas dan gangguan kendaraan diakibatkan masalah *hidden node* dapat mempengaruhi kinerja komunikasi kendaraan hal ini dikarenakan topologi dinamis karena mobilitas kendaraan dan transmisi pesan yang dilakukan secara bersamaan. IEEE 802.11p hanya menggunakan *physical carrier sensing* untuk mengurangi *collision* seperti *virtual carrier sensing*. Selain itu komunikasi *broadcast* untuk komunikasi V2V, *sensitive* terhadap *hidden node*. Oleh karena itu banyak upaya yang dilakukan untuk merancang metode *control* untuk mengatasi masalah gangguan dari *hidden node*. (Triwinarko, Dayoub dan Cherkaoui, 2021) menemukan solusi untuk mengurangi pemblokiran pada penerima yang disebabkan oleh mekanisme CSMA/CA.

Mekanisme CSMA/CA bukan hanya dapat menyebabkan *hidden node*, namun dengan mekanisme *Request to Send/ Clear to Send* (RTS/CTS) menyebabkan pemblokiran pada penerima. Kinerja jaringan lapisan MAC melarang secara bersamaan di zona deteksi yang sama untuk menghindari



kemungkinan gangguan antara kendaraan tetangga. Dengan cara ini semua *hidden node* dapat diatasi ketika pesan darurat sedang dalam transmisi. Jenis pesan atau prioritas pesan darurat diidentifikasi oleh frekuensi sinyal nada sibuk. Transmisi pesan darurat dengan nada sibuk akan memblokir semua *node* yang mengirim pesan ketika berada dalam jangkauan transmisi (Ma dkk., 2012). Sehingga kemungkinan bahwa beberapa kendaraan mengirimkan pesan secara bersamaan, nada sibuk (larangan) ini menghasilkan masalah yang disebut pemblokiran penerima. Pada waktu tertentu *node* kendaraan tidak diizinkan melakukan transmisi sehingga disebut *node* kendaraan diblokir. Yaitu, jika sebuah *node* mengirim RTS ke *node* penerima yang saat ini sedang diblokir (kemudian *node* penerima tidak merespon karena status blokir) maka *node* pengirim berada dalam status *backoff*. Gambar 3 menunjukkan masalah pemblokiran pada saat *node* 1 dan *node* 2 bertukar pesan. *Node* 3 menerima paket RTS dan CTS dan karena tetap dilarang mentransmisikan selama periode tertentu. Dalam kasus *node* 4 mengirimkan RTS ke *node* 3 untuk mengirim paket data. Karena *node* 3 diblokir, hal ini mengakibatkan *node* 4 tidak mendapat respon dan masuk ke mode *backoff*. *Backoff* dari *node* 4 pada Gambar 3 tersebut akan mengakibatkan *delay* yang cukup lama. Selain itu, masalah pemblokiran palsu dapat terjadi yang dapat mempengaruhi kinerja VANET (Ray dan Starobinski, 2007).

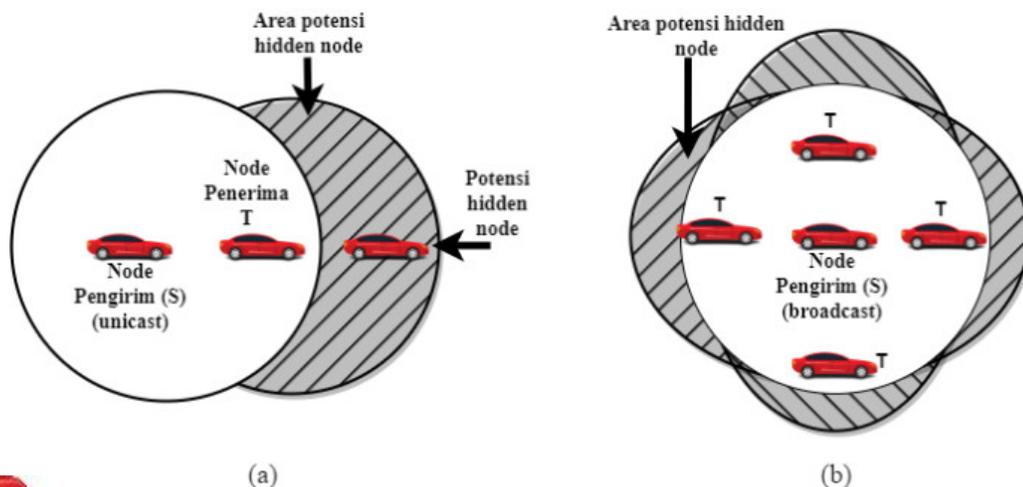


Gambar 3 *Blocking Problem*



Hal ini berarti *neighborhood* dilarang untuk mengirimkan data selama transmisi sedang berlangsung untuk menghindari potensi gangguan dan *collision* yang mengakibatkan penurunan rata-rata *throughput*.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 daerah yang diarsir merupakan area potensi *hidden node*. Untuk komunikasi *unicast* seperti pada Gambar 4(a), ukuran potensi area *hidden node* dapat diidentifikasi dan dihitung dengan menggunakan jarak antara pengirim dan penerima. Namun, komunikasi *broadcast* di IEEE 802.11p tidak menggunakan *virtual carrier sensing* dan hanya mengandalkan *physical carrier sensing* untuk mengurangi *collision*. Komunikasi *broadcast* seperti pada Gambar 4(b), potensi area *hidden node* memerlukan jangkauan penerima ke semua *node* yang berada dalam jangkauan transmisi pengirim. Dengan demikian, potensi *hidden node* dalam komunikasi *broadcast* kemungkinan jauh lebih besar daripada *unicast*. Masalah *hidden node* adalah masalah kritis dalam kinerja jaringan VANET. Meskipun komunikasi *unicast* memiliki keandalan dengan menggunakan RTS/CTS, namun tidak ada pemulihan pada MAC untuk melakukan transmisi ulang. Sehingga komunikasi *broadcast* mempunyai masalah *hidden node* yang sangat mempengaruhi kinerja dan keandalan VANET. Keandalan komunikasi *broadcast* VANET didefinisikan sebagai kemampuan komunikasi untuk semua *node* menerima pesan *broadcast*.



4 Perbandingan *hidden node* komunikasi *unicast* dan komunikasi *broadcast*
(a) *Unicast* (b) *Broadcast*



Penelitian tentang *hidden node* dilakukan oleh (Kumar dan Kim, 2019) menggunakan *Packet Rate Adaptation* berdasarkan *Bloom filter* (PRAB) untuk mengurangi *hidden node* yaitu dengan berdasarkan jumlah *hidden node* yang dialami oleh pemancar dan penerima. Namun ditemukan kemungkinan bahwa *bloom filter* dapat melakukan kesalahan dalam menentukan *neighborhood* kendaraan. Hal ini terjadi karena *neighborhood* juga menetapkan bit yang sama sehingga *bloom filter* mendeteksi *hidden node* palsu. (Bashir dan Boudjit, 2020) melakukan penelitian untuk pengawasan jalan raya dari *hidden node* dengan mengusulkan skema kolaboratif antara UAV dan VANET. Skema *collaborative* UAVs dengan VANET (CUV) digunakan dengan mencari bantuan dari VANET selama tersedia. Penelitian menyimpulkan kekurangan dari CUV dikarenakan VANET yang menggunakan konsep DSRC yang mempunyai batas jangkauan untuk berkomunikasi. (Vijayakumar dkk., 2020) menggunakan *Contention Window* (CW) berdasarkan *node relay* untuk mengatasi permasalahan transmisi yang disebabkan oleh *hidden node*. *Node relay* membantu dalam penyebaran data diluar jangkauan komunikasi dengan latensi minimum. Penelitian menyimpulkan hanya dilakukan dengan kondisi *node* tidak bergerak, dan menggunakan *node* lain sebagai *access point* atau *terminal adapter* (TA) sebagai *interface* untuk komunikasi. (Akhter dkk., 2021)(Akhter dkk., 2021) mengusulkan protocol *Medium Access Control* berbasis *Cluster* (CB-MAC) untuk mengurangi *hidden node*. Penelitian membuktikan *throughput* yang dihasilkan hingga 15 Mbps lebih baik dari beberapa penelitian yang diusulkan sebelumnya. Mekanisme yaitu *Global Authentication Center* (GAC) bertugas menyimpan semua informasi kendaraan kemudian *Local Authentication Center* (LAC) digunakan untuk *blockchain* yang diaktifkan antara *cluster* internal kendaraan. Penelitian menemukan dibutuhkan waktu 3,10 ms untuk proses autentikasi. Namun, untuk menyimpan informasi otentikasi satu juta kendaraan membutuhkan 606 MB. (Triwinarko, Dayoub dan Wikanta, 2017) menemukan solusi untuk mengurangi pemblokiran pada penerima yang disebabkan oleh mekanisme



A. Mekanisme CSMA/CA bukan hanya dapat menyebabkan *hidden node*, penggunaan mekanisme *Request to Send/ Clear to Send* (RTS/CTS) bukan masalah pemblokiran pada penerima. Hal ini berarti *neighborhood* dilarang

untuk mengirimkan data selama transmisi sedang berlangsung untuk menghindari potensi gangguan dan *collision* yang mengakibatkan penurunan rata-rata *throughput*. Penelitian mengusulkan skema RTS/CTS yang memungkinkan pemancar memilih kombinasi terbaik dari antena pemancar. Penelitian lain yang dilakukan oleh (Triwinarko, Dayoub dan Cherkaoui, 2021) yaitu mengusulkan penggunaan antena MIMO untuk mengatasi permasalahan pemblokiran sementara, namun penelitian menemukan semakin banyak penggunaan antena untuk melakukan transmisi secara bersamaan, maka dibutuhkan lebih banyak waktu untuk sinkronisasi antar kendaraan. Permasalahan sinkronisasi ini disebabkan karena MIMO memiliki *interval* yang dapat menyebabkan adanya *delay* pada antena yang akan mengirimkan sinyal, meskipun pengiriman sinyalnya lebih cepat. Interval waktu terjadi karena adanya proses dimana *system* harus membagi sinyal mengikuti jumlah antena yang dimiliki perangkat MIMO yang jumlahnya lebih dari satu.

Beberapa upaya penelitian telah dilakukan untuk mengurangi efek pemblokiran penerima di jaringan *ad-hoc*. (Zhai, Wang dan Fang, 2006) protokol MAC menggunakan *Dual Channel* (DUCHA). Penelitian menggunakan satu saluran untuk data dan yang lainnya untuk mengontrol paket. Solusi ini meningkatkan *throughput* dibandingkan dengan protokol MAC konvensional. Namun, hal tersebut dianggap tidak realistis karena keterbatasan perangkat keras dan biaya. (Feng, Lin dan Lei, 2013) menghadirkan *Multiple Receiver Transmission* (MRT), *Network Allocation Vector* (NAV) dan *adaptive receiver transmission* (ART) untuk mengurangi masalah pemblokiran tanpa mengadopsi saluran kontrol tambahan. Setiap *node* mentransmisikan ke beberapa penerima dalam skema MRT, dan durasi NAV dalam paket RTS berkurang. Penelitian tersebut mengamati peningkatan *throughput*, namun tidak dijelaskan untuk digunakan di lingkungan kendaraan. Mempertimbangkan MIMO dan *desain cross layer*, (Triwinarko, Dayoub dan Cherkaoui, 2021) mengusulkan desain lintas/lapisan PHY MAC berdasarkan *transmission antenna selection* untuk komunikasi



NET. Solusi tersebut hadir dengan protokol MAC yang memungkinkan untuk mengirimkan data secara bersamaan tanpa mengganggu satu sama lain dengan menerapkan deteksi *linier ZF*. Oleh karena itu, masalah pemblokiran

penerima berkurang karena kendaraan dapat mentransmisikan secara bersamaan dan menghasilkan peningkatan yang signifikan dari *throughput* jaringan bila dibandingkan dengan standar *protocol IEEE 802.11p MAC*. Namun, solusi ini masih mengalami masalah pemblokiran penerima di lingkungan VANET dengan kepadatan tinggi. Penelitian lain mengusulkan solusi untuk mengurangi masalah pemblokiran penerima didasarkan pada algoritma *transmit antenna selection (TAS)* dan *transmit power adaptation (TPA)*. Desain ini memungkinkan pemancar memilih kombinasi antena pemancar terbaik agar dapat memaksimalkan *throughput*. Pendekatan dilakukan berdasarkan pada beberapa pertukaran paket kontrol antara pemancar dan penerima. Namun solusi tersebut mengalami masalah sinkronisasi waktu karena penggunaan beberapa antena. Sehingga dari permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan solusi sinkronisasi waktu menggunakan *combining diversity technique* yaitu *Maximal Ratio Combining, Equal Gain Combining, dan Selection Combining*.

Metode *Spatial Diversity* merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk mengurangi efek *fading* yang disebabkan oleh kanal. Sistem yang menggunakan *spatial diversity* memerlukan *spatial diversity combiner* agar dapat mengolah sinyal. Namun (Al-Juboori dan Fernando, 2018) melakukan simulasi ketiga teknik *combining* tersebut pada kanal *rayleigh*. Masing-masing teknik memiliki kelebihan dan kekurangan dalam implementasinya sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mensinkronkan *combining diversity technique* untuk mendapatkan kinerja yang lebih efisien pada saat digunakan. Selain itu (X. R. Li et al., 2010) memberikan beberapa analisis tentang resolusi rentang dan pola dalam beberapa kasus dimana *diversitas* tidak bekerja sama dengan efisien. Sistem MIMO sensitif terhadap waktu dan kesalahan frekuensi. Efek kesalahan sinkronisasi dapat menghancurkan *ortogonalitas* antara sub *channel* yang parah (Nasraoui dkk., 2021).

Dari latar belakang yang dijelaskan, diperlukan solusi untuk permasalahan *hidden node* dan *blocking problem*. Pendekatan simulasi MIMO digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *hidden node* dan *blocking problem* dengan melakukan analisis terlebih dahulu pada *spatial diversity* agar efisien. Metode *spatial diversity* merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk mengurangi efek *fading* yang



disebabkan oleh kanal. (Al-Juboori, Doufexi dan Nix, 2017) melakukan simulasi *spatial diversity* pada kanal *Rayleigh*. Penelitian ini membuktikan, masing-masing teknik memiliki kelebihan dan kekurangan dalam implementasinya sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mensinkronkan *spatial diversity* untuk mendapatkan kinerja yang lebih efisien pada saat digunakan. Selain itu, (Shteiman dkk., 2018) menyimpulkan beberapa analisis tentang resolusi dan pola dalam beberapa kasus yang menghasilkan diversitas tidak bekerjasama dengan efisien. Sehingga berdasarkan beberapa permasalahan diatas, penelitian ini bertujuan mempelajari “**Diversitas Combining untuk Sinkronisasi dan Hidden Node pada Komunikasi Vehicular Ad Hoc Network**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang maka rumusan masalah dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana evaluasi kinerja *throughput*, *Packet Delivery Ratio* (PDR), dan bagaimana mengurangi E2E *delay* dalam komunikasi V2V dari permasalahan *hidden node* di lapisan MAC (CSMA/CA) dan RTS/CTS dengan mengoptimalkan sinkronisasi waktu dengan diversitas combining?
2. Bagaimana sinkronisasi waktu dengan *combining diversity* mempengaruhi *Bit Error Rate* (BER) dalam konteks komunikasi V2V dengan mempertimbangkan kehadiran *hidden node* sebagai faktor yang mempengaruhi performa jaringan?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. Mengevaluasi kinerja *throughput*, *Packet Delivery Ratio* (PDR), serta mengurangi *End to End Delay* (E2E) dalam komunikasi *Vehicle to Vehicle* (V2V) dengan mengatasi permasalahan *hidden node* di lapisan MAC (CSMA/CA) dan RTS/CTS

ii pengoptimalan sinkronisasi waktu dan penerapan *combining diversity*.

evaluasi pengaruh sinkronisasi waktu dengan *combining diversity* terhadap *error Rate* (BER) dalam komunikasi *Vehicle to Vehicle* (V2V) dengan



mempertimbangkan kehadiran *hidden node* sebagai faktor yang mempengaruhi kinerja jaringan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Protocol CSMA/CA dan RTS/CTS digunakan dalam simulasi untuk menguji dan mengevaluasi dari masalah *hidden node*.
2. Analisis kinerja yaitu untuk memperoleh BER, meningkatkan *throughput*, PDR dan mengurangi E2E *delay*.
3. Data mobilitas kendaraan diambil menggunakan SUMO dan OMNET++.
4. Jenis spatial MIMO digunakan dikarenakan kendaraan bergerak dengan kecepatan tinggi.
5. *Combining diversity* (SC, EGC, dan MRC) digunakan sebagai solusi untuk sinkronisasi waktu.
6. Pengujian dilakukan pada komunikasi *vehicle to vehicle* (V2V).
7. Faktor yang divariasikan untuk pengambilan data yaitu jumlah kendaraan, kecepatan kendaraan dan range transmisi antena.
8. Tempat penelitian dilakukan di Jl. Hertasning, Jl. AP. Pettarani, Jl. Boulevard, Jl. Pengayoman, dan Jl. Alauddin Makassar untuk skenario kondisi *real* mobilitas kendaraan dengan pertimbangan lokasi yang sering mengalami kepadatan kendaraan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian adalah sebagai berikut :

1. Meningkatkan efisiensi komunikasi V2V dengan evaluasi kinerja throughput, packet delivery ratio (PDR) dan mengurangi E2E delay dari permasalahan *hidden node* di lapisan MAC.



Penyesuaian sinkronisasi waktu antar cabang *combining diversity* dapat mengurangi dampak *hidden node* terhadap *Bit Error Rate* (BER) dalam sistem komunikasi V2V.

1.6 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian mencakup evaluasi kinerja komunikasi V2V dengan fokus untuk mengatasi masalah *hidden node*. Penelitian akan mengoptimalkan *Retry Limit* (RL) dan ukuran *Contention Window* (CW) dalam lapisan MAC, serta menguji pendekatan sinkronisasi waktu dengan MRC/EGC dalam mengatasi permasalahan *hidden node*. Algoritma *Backoff* digunakan untuk menyesuaikan *retry limit* sehingga algoritma memberikan *delay* yang bervariasi setelah setiap percobaan pengiriman yang gagal. Peningkatan saluran untuk masalah *hidden node* dalam penelitian dilakukan dengan sinkronisasi waktu dengan *Maximum Ratio Combining* (MRC) dan *Equal Gain Combining* (EGC) sehingga, Novelty atau kebaruan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sinkronisasi waktu pada antenna kendaraan penerima yakni dikondisikan *antenna* penerima memiliki beberapa sinyal yang dapat dipilih kemudian diproses untuk dipilih sinyal yang lebih kuat.
2. Mengurangi masalah *hidden node*, dilakukan dengan menentukan radius *hidden node* dengan memperkirakan SINR pada kendaraan dengan model propagasi dua arah.
3. Metode akses dengan pendekatan CW-MIMO untuk mengurangi potensi *collision* akibat adanya *hidden node* pada komunikasi kendaraan.

Pada Bab II dan Bab III, kami akan menjelaskan terkait tujuan penelitian yaitu untuk mengevaluasi kinerja jaringan V2V dengan memperhatikan permasalahan *hidden node* dan faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja jaringan seperti *throughput*, *Packet Delivery Ratio*, *End to End Delay* (E2E), dan *Bit Error Rate* (BER). Disertasi ini juga menjelaskan lebih lanjut tentang keterkaitan antara pengoptimalan sinkronisasi waktu dan penerapan *combining diversity* dalam mengatasi permasalahan *hidden node*.

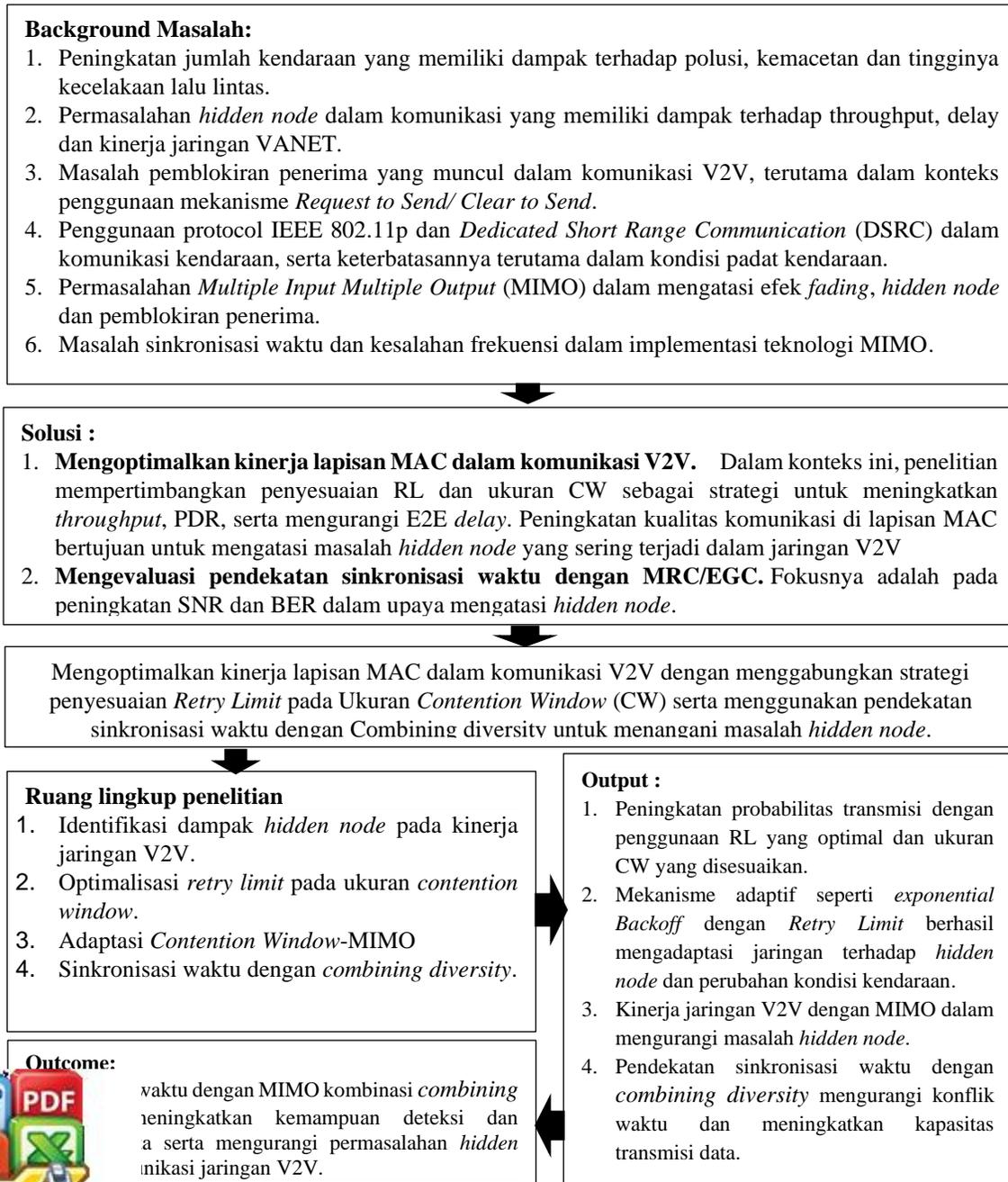


nemahami hubungan antara sinkronisasi waktu, *combining diversity*, dan jaringan V2V, kami berharap dapat memberikan kontribusi yang berharga pengembangan teknologi komunikasi kendaraan masa depan.

BAB II

KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN

2.1 Kerangka Konseptual



Gambar 5 Kerangka konseptual



Dalam konteks lalu lintas yang semakin padat seperti yang ditunjukkan pada kerangka konseptual Gambar 5, peningkatan jumlah kendaraan di jalan raya menjadi tantangan serius yang berkontribusi terhadap polusi udara, kemacetan, dan tingginya tingkat kecelakaan. Dampak negatif ini menuntut solusi inovatif untuk mengelola lalu lintas dengan lebih efisien, mengurangi emisi polusi, dan meningkatkan keselamatan jalan.

Masalah *hidden node* dalam komunikasi di jaringan *Vehicle Ad Hoc Network* (VANET) menjadi hambatan utama terhadap peningkatan *throughput*, *delay*, dan kinerja keseluruhan jaringan (Juárez dan Bordel, 2023). Strategi yang dapat mengatasi permasalahan ini menjadi esensial untuk memastikan komunikasi yang handal antar kendaraan di dalam VANET. Dalam konteks komunikasi *Vehicle to Vehicle* (V2V), munculnya masalah pemblokiran penerima, terutama terkait dengan mekanisme *Request to Send/ Clear to Send* (RTS/CTS), menimbulkan kendala signifikan dalam transmisi data yang efisien. Pengembangan protokol komunikasi yang lebih adaptif dan efektif menjadi perlu agar kendala pemblokiran penerima dapat diminimalkan (Okorogu dan Okafur, 2021).

Penggunaan protokol IEEE 802.11p dan *Dedicated Short Range Communication* (DSRC) dalam komunikasi kendaraan menunjukkan keterbatasan, terutama saat menghadapi kondisi padat kendaraan (Okpok dan Kihei, 2023).

Permasalahan terkait *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) juga menjadi fokus, dengan tantangan seperti keberadaan *hidden node*, dan pemblokiran penerima (Chafii dkk., 2023). Pengembangan strategi MIMO yang lebih canggih dan efektif diharapkan dapat meningkatkan kemampuan jaringan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Kemudian, masalah sinkronisasi waktu dan kesalahan frekuensi menjadi aspek kritis yang membutuhkan perhatian lebih lanjut (Weng dan Zhang, 2023).

Dalam mengatasi masalah komunikasi *Vehicle to Vehicle* (V2V), fokus penelitian tertuju pada pengoptimalkan kinerja lapisan *Media Access Control* (MAC).

Salah satu permasalahan yang dihadapi adalah keberadaan *hidden node*, yang dapat menurunkan *throughput* yang rendah dan peningkatan *delay* dalam jaringan V2V.



Untuk mengatasi hal ini, strategi penyesuaian *Retry Limit* pada ukuran *Contention Window* (CW) diimplementasikan (Cruz, Ouameur dan Figueiredo, 2023).

Selanjutnya, solusi lainnya terfokus pada pendekatan sinkronisasi waktu dengan *Combining diversity*. Penerapan teknik *Combining diversity*, seperti *Maximal Ratio Combining* (MRC) atau *Equal Gain Combining* (EGC), penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas sinyal dalam komunikasi V2V. Sinkronisasi waktu yang tepat dapat mengurangi konflik waktu antar kendaraan dan memberikan kontribusi signifikan dalam menangani masalah *hidden node*.

Kemudian, kombinasi dari penyesuaian RL dan ukuran CW di lapisan MAC serta pendekatan sinkronisasi waktu dengan MRC/EGC diharapkan dapat menciptakan lingkungan komunikasi V2V yang lebih handal, efisien, dan mampu mengatasi kendala-kendala yang muncul, seperti *hidden node*. Solusi-solusi ini mencerminkan upaya untuk menghadirkan inovasi dalam teknologi komunikasi kendaraan dengan tujuan meningkatkan keselamatan dan efisiensi lalu lintas.

Penelitian ini akan merinci ruang lingkupnya untuk mengatasi beberapa aspek krusial dalam kinerja jaringan *Vehicle to Vehicle* (V2V). Pertama-tama, penelitian akan memfokuskan pada identifikasi dampak *hidden node* pada kinerja jaringan V2V. Dengan menganalisis efek dari *hidden node*, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keberadaan *hidden node* yang dapat memengaruhi *throughput* dan *delay* dalam komunikasi V2V (Rasna dkk., 2023). Pertama-tama, penelitian akan memfokuskan pada identifikasi dampak *hidden node* pada kinerja jaringan V2V. Selanjutnya, penelitian ini akan mengoptimalkan *retry limit* pada ukuran *contention window* sebagai strategi untuk meningkatkan probabilitas transmisi data, *Packet Delivery Ratio* (PDR), dan mengurangi *End to End* (E2E) *delay*. Selain itu, ruang lingkup penelitian juga akan mencakup adaptasi *Contention Window Multiple Input Multiple Output* (MIMO). Integrasi antara strategi penyesuaian *Retry Limit* pada *Contention Window* dengan teknologi MIMO diharapkan dapat memberikan solusi yang menyeluruh untuk

meningkatkan kinerja jaringan V2V. Pendekatan ini akan memadukan respons adaptif kondisi jaringan dengan keunggulan *Multiple Input Multiple Output* dalam



mengatasi masalah *fading* dan meningkatkan *throughput*. Terakhir, penelitian ini akan menggunakan pendekatan sinkronisasi waktu dengan *combining diversity*.

2.1.1 State of the art

Sebagai langkah awal untuk merangkum perkembangan terkini dalam topik penelitian ini, dilakukan studi literatur yang mencakup penelitian-penelitian relevan yang telah dilaksanakan oleh berbagai peneliti terdahulu. Melalui analisis literatur, ditemukan bahwa *state of the art* dalam konteks komunikasi kendaraan (V2V) mencakup berbagai aspek kritis, termasuk penanganan masalah *hidden node*, sinkronisasi waktu, dan konsep *diversitas combining*.

Dalam ranah *hidden node*, penelitian terdahulu telah mencoba berbagai strategi untuk mengatasi tantangan ini. Sementara itu, dalam domain sinkronisasi waktu, penelitian literatur mencermati berbagai pendekatan yang telah diusulkan untuk meningkatkan koordinasi waktu antar kendaraan. Hasil-hasil dari studi literatur ini memberikan perspektif terkini tentang kemajuan dalam sinkronisasi waktu yang relevan dengan konteks V2V. Dalam konteks *diversitas combining*, terutama melalui penggunaan teknologi *Multiple Input Multiple Output* (MIMO), penelitian literatur menyoroti upaya untuk mengatasi efek *fading*, *hidden node*, dan pemblokiran penerima.

Dengan menggabungkan temuan-temuan dari penelitian-penelitian terkait ini, penelitian ini berupaya untuk fokus khusus pada penanganan *hidden node*. Tabel 1 menyajikan rangkuman dari berbagai penelitian yang memiliki relevansi dengan fokus penelitian saat ini.

Tabel 1 *State of the art* penelitian terkait

No	Peneliti /Tahun	Implementasi	Metode	Hasil	Potensi Penelitian	Kelebihan	Kekurangan
1	(Oni ein 9)	Membahas tentang <i>hidden node</i> di Physical selection (PCS) pada WLAN	Skema PCS <i>threshold selection</i>	Peningkatan kepadatan <i>node</i> meningkatkan kinerja sistem dengan skema PCS, mencapai	Penelitian <i>hidden node</i> dilakukan pada sisi MAC <i>layer</i> .	Deteksi konflik dan meningkat efisiensi.	Keterbatasan jarak dan PCS tidak akurat jika banyak sinyal atau interferensi



No	Peneliti /Tahun	Implementasi	Metode	Hasil	Potensi Penelitian	Kelebihan	Kekurangan
				target SINR 60%.			
2	(Maatouk, Assaad dan Ephremides, 2019)	Optimalisasi CSMA dengan melakukan <i>control</i> pada parameter operasional <i>back off</i> dan <i>sleep timer</i>	Markov chain	Mengalami penurunan daya sebesar 15% pada CSMA adaptif.	CSMA memiliki kelemahan yang relatif lambat karena sinyal <i>broadcast</i> .	Mengoptimalkan penggunaan sumber daya.	Kompleksitas konfigurasi, sensitivitas terhadap perubahan jaringan.
3	(Al-Janabi dan Al-Raweshidy, 2019)	Mengusulkan protocol MAC <i>Hybrid</i> untuk meningkatkan <i>throughput</i> pada konservasi energi	Sleep mode digunakan untuk membagi perangkat agar mengurangi <i>node hidden</i>	<i>Throughput</i> pada konservasi energi meningkat 40%-60%.	CSMA dengan <i>sleep mode</i> memiliki permasalahan dalam hal <i>delay time</i> .	Menghemat energi.	Sinkronisasi yang rumit.
4	(Kumar, Choi dan Kim, 2019)	Pengaruh <i>hidden node</i> dengan mengusulkan model <i>packet reception probability</i> (PRP) dan <i>Packet Reception Interval</i> (PRI).	Markov digunakan untuk analisis pengaruh <i>hidden node</i>	Model <i>packet reception probability</i> (PRP) dan <i>packet reception interval</i> (PRI) mengurangi efek dari <i>hidden node</i> kurang dari 10%.	Permasalahan lain dikarenakan peningkatan jumlah <i>slot backoff</i> yang dikarenakan ukuran <i>contention window</i> .	Mengoptimalkan penggunaan saluran.	Sensitivitas terhadap perubahan jaringan.
5	(Karabulut, Shah dan Ilhan, 2020)	<i>Protocol MAC</i> berbasis <i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i> (OFDMA) diusulkan untuk mengurangi kemungkinan collision transmisi dalam skenario lalu lintas tinggi	<i>Chain markov</i> digunakan untuk memberikan hasil analitik OEC-MAC	OEC-MAC memberikan peningkatan <i>throughput</i> dan <i>delay</i> 100ms untuk pesan keselamatan	Solusi mengurangi collision namun tidak dibahas solusi untuk <i>hidden node</i> pada transmisi V2V.	Meningkatkan efisiensi spectral.	Sensitivitas terhadap multipath fading.
		Permasalahan <i>hidden node</i> di jaringan <i>Full Duplex</i> (FD)	<i>Ellipse interference model</i> dan <i>ellipse carrier sensing model</i>	Meningkatkan <i>throughput</i> lebih dari	Solusi mengurangi <i>hidden node</i> dilakukan bukan	Sederhana dan mudah diimple	Sensitif terhadap gangguan



No	Peneliti /Tahun	Implementasi	Metode	Hasil	Potensi Penelitian	Kelebihan	Kekurangan
				30%.	untuk jaringan V2V	mentasi kan.	
7	(Lanante, Ghosh dan Roy, 2020)	Mengembangkan model analitik untuk CSMA multi operator	<i>Multicarrier random access</i>	<i>Throughput</i> dinormalisasi 80%	Pengembangan model CSMA tidak membahas mengenai <i>hidden node</i> .	Mengurangi interferensi	Sensitivitas terhadap perubahan topologi
8	(Lin dkk., 2020)	Mengusulkan struktur frame baru untuk mengatasi masalah <i>collision</i> pesan yang disebabkan oleh pergerakan kendaraan	Model markov	Protokol TDCSMA mengurangi kemungkinan <i>hidden node</i> namun tidak dapat digunakan untuk jaringan skala besar karena jumlah slot waktu yang terbatas.	Jumlah slot waktu yang terbatas, dan tidak dapat digunakan untuk jaringan skala besar.	Mengurangi interferensi	Sensitivitas terhadap perubahan topologi
9	(Triwinar ko, Dayoub dan Cherkaoui, 2021)	Mengusulkan desain <i>cross layer</i> PHY dan MAC untuk mengatasi permasalahan pemblokiran sementara pada kendaraan	Pendekatan <i>cross layer</i> dari lapisan PHY/MIMO	Penurunan daya pancar sebesar 26% sehingga tidak mempengaruhi <i>hithroughput</i>	Permasalahan baru yaitu sinkronisasi waktu karena waktu penggunaan banyak antena pada kendaraan.	Adaptabilitas terhadap perubahan lingkungan	Ketergantungan terhadap kualitas sinyal.
10	(Jeon dkk., 2018)	Menyajikan metode baru untuk mensintesis matriks kovarians untuk radar MIMO yang koheren dengan keragaman fungsi.	Teknik Diversitas digunakan untuk menggabungkan matriks kovarians yang sesuai dengan frekuensi pembawa yang berbeda	Penggabungan keragaman MRC atau EGC, menghasilkan output SNR yang lebih tinggi	MIMO dengan diversitas dapat memaksimalkan SNR dan evaluasi kinerja.	Mengurangi <i>fading</i> .	Delay dalam pengiriman sinyal.
11	(Tengshe, Kumar dan Platonov, 2019)	Mengeksplorasi dan menganalisis analog arsitektur sistem komunikasi umpan balik (AFCS) dan performa Teknik (EGC)	Model system AFCS (<i>Analog Feedback Communication Systems</i>)	Diversitas yang diterapkan ke EGC menunjukkan peningkatan efisiensi daya	Belum diterapkan di lingkungan VANET	Dinamis.	Keterbatasan efektivitas pada jaringan skala besar.



No	Peneliti /Tahun	Implementasi	Metode	Hasil	Potensi Penelitian	Kelebihan	Kekurangan
12	(Shahin dkk., 2019)	Mekanisme <i>backoff</i> eksponensial <i>protocol</i> CSMA/CA	<i>Discrete Time Markov Chain</i> (DTMC)	<i>Delay</i> yang lebih rendah mencapai 90%	Optimasi pengaturan waktu dikarenakan <i>node</i> berubah dengan cepat.	Dinamis.	Kompleksitas implementasi.
13	(Amor dkk., 2019)	Sinkronisasi waktu dan frekuensi berbasis <i>Extreme Learning Machine</i> (ELM)	ELM	Akurat untuk <i>Mean Squared Error</i> (MSE)	Belum diteliti untuk V2V	Penyesuaian dinamis	Keterbatasan penanganan hidden node dan sensitif terhadap noise
14	(Wang dkk., 2020)	Sinkronisasi dengan <i>detector</i> koheren dan non koheren	Gelombang linear frequency modulation (LFM) digunakan	Detektor koheren sensitive terhadap kesalahan sinkronisasi sedangkan <i>detector non koheren</i> kurang sensitive terhadap kesalahan	Tidak mempertimbangkan sinkronisasi pada kondisi VANET.	Konsumsi daya rendah	Kinerja yang terbatas pada sinyal lemah.
15	(Wu dkk., 2020)	Menganalisis efek dari kesalahan sinkronisasi waktu berbasis ruang angkasa	GNSS	Memberikan sinyal transmisi timbal balik dua arah	Sinkronisasi waktu dan efek radar tidak dijelaskan untuk VANET	Mengurangi collision.	Kesulitan dalam deteksi hidden node.
16	(Liang dkk., 2021)	Mengusulkan skema fasa sinkronisasi untuk system Radar Aperture Sintetik Bistatic (BISAR) berdasarkan diversitas bentuk gelombang dan sinyal.	Teknik diversitas	Sinyal sinkronisasi mencapai 29 dB.	Ambiguitas sinyal sinkronisasi	Ketahanan terhadap gangguan	Kinerja yang tergantung pada kondisi lingkungan
17	(Shah dkk., 2020)	Optimasi kinerja protocol Cluster based MAC untuk mengurangi masalah hidden node	Cluster based MAC, analisis menggunakan Markov Chain.	Mengoptimalkan kinerja protocol CB-MAC dengan ukuran transmisi	Inklusi efek channel fading	Manajemen akses terpusat	Sensitive terhadap mobilitas, keterbatasan dalam lingkungan padat dan jangkauan.
	a	Sinkronisasi	Sinkronisasi	Pengukuran	Implementasi dan	Menguji	Keterbatasan



No	Peneliti /Tahun	Implementasi	Metode	Hasil	Potensi Penelitian	Kelebihan	Kekurangan
	dkk, 2024	waktu dan combining diversity untuk mengurangi kemungkinan terjadinya hidden node dengan mempertimbangan lingkungan padat kendaraan dan jangkauan V2V.	waktu, combining diversity, Ordinary Kriging.	kinerja jaringan, penurunan probabilitas error (BER)	pengujian lapangan dan evaluasi protocol alternatif untuk V2V.	efektivitas protocol CSMA/CA dan RTS/CTS dalam mengatasi hidden node.	an dalam prediksi jarak relative antara kendaraan dalam lingkungan urban yang lebih

2.1.2 Tahapan penelitian

Pada tahap awal penelitian, fokus utama adalah mengevaluasi kinerja *Contention Window* terhadap dampak *hidden node* pada kendaraan dalam konteks komunikasi jaringan *Vehicle to Vehicle* (V2V). Tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi *Contention Window* dalam mengatasi masalah *hidden node* yang sering terjadi dalam lingkungan jaringan V2V.

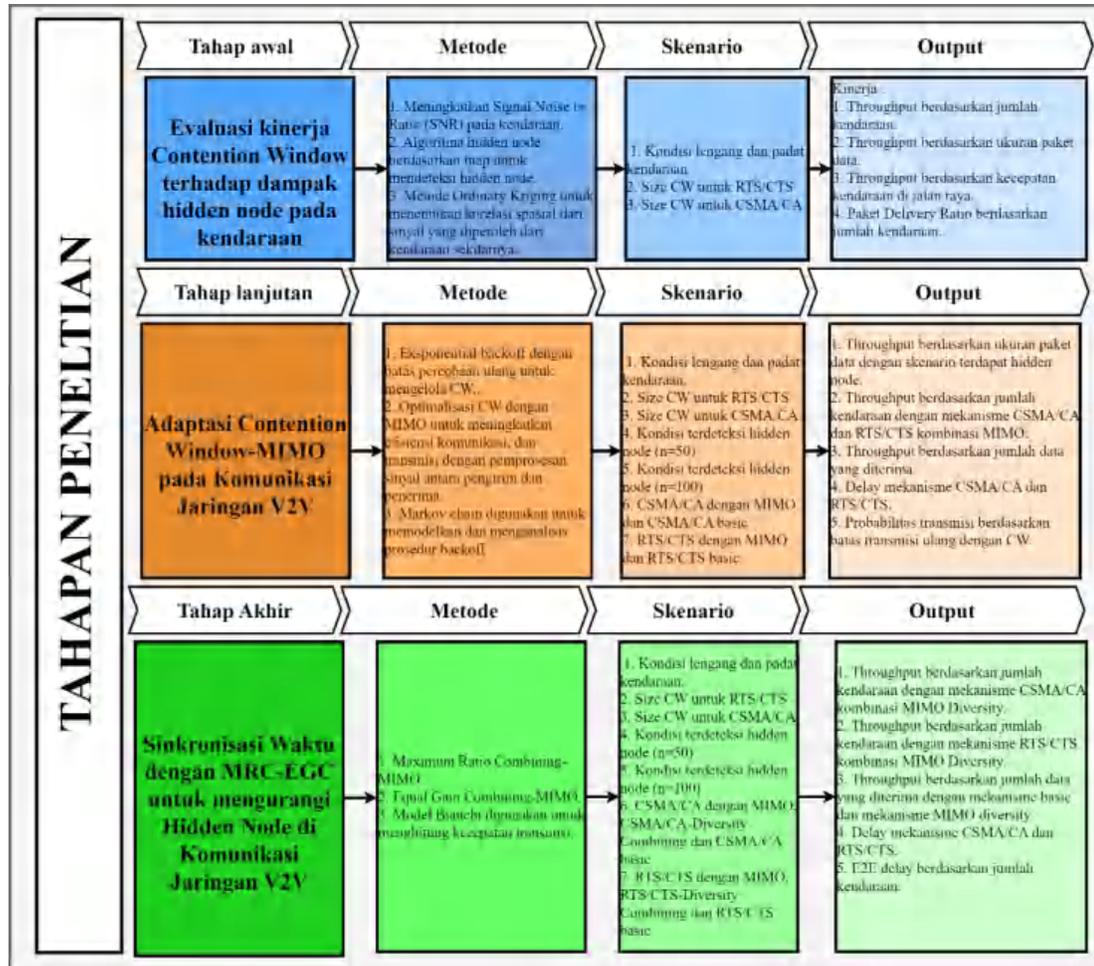
Tahap lanjutan dari penelitian ini akan mencakup adaptasi *Contention Window*-MIMO pada komunikasi jaringan V2V. Dalam hal ini, penelitian akan mempertimbangkan bagaimana penggunaan teknologi *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) dapat dioptimalkan dengan penyesuaian *Contention Window*. Fokus pada tahap ini adalah meningkatkan efisiensi komunikasi dan mengurangi dampak *hidden node* dalam lingkungan yang lebih kompleks.

Tahap akhir penelitian yaitu sinkronisasi waktu dengan menggunakan teknik *diversity combiner* untuk mengurangi masalah *hidden node* di komunikasi jaringan V2V. Dengan memanfaatkan sinkronisasi waktu, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas sinyal dan mengoptimalkan deteksi kendaraan, sehingga mengurangi *hidden node* secara signifikan. Dengan demikian, keseluruhan penelitian



menunjukkan gambaran tahapan penelitian melalui pendekatan progresif dalam menangani masalah *hidden node* dalam konteks V2V, mulai dari evaluasi *Contention*

Window hingga implementasi teknologi sinkronisasi waktu seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Tahapan penelitian

2.1.3 Jenis penelitian

Jenis penelitian yang digunakan yaitu penelitian eksperimental dan simulasi. Penelitian eksperimental dilakukan dengan pengumpulan data langsung melalui pengamatan berdasarkan skenario. Dalam konteks V2V, penelitian eksperimental

n untuk menguji performa protokol komunikasi V2V secara langsung dalam nyata yaitu mengamati dampak *hidden node* pada komunikasi V2V di an jalan raya sebenarnya, dengan mengukur parameter *throughput*, PDR, dan



E2E *delay*. Kemudian penelitian simulasi digunakan dengan perangkat lunak atau simulator untuk mensimulasikan kondisi atau skenario tertentu. Dalam konteks V2V, penelitian simulasi digunakan untuk menguji algoritma adaptasi dan skenario *collision* data dalam lingkungan virtual, seperti memodelkan efek *hidden node* dan menganalisis bagaimana protokol komunikasi tertentu berskala dengan variasi jumlah kendaraan. Dalam hal sinkronisasi waktu dan diversitas combining, simulasi mengidentifikasi parameter optimal untuk meningkatkan kinerja dalam kondisi tertentu.

2.1.4 Sumber data

Sumber data pada penelitian berupa data primer yang langsung dikumpulkan di lokasi penelitian di Kota Makassar (Jl. Pettararani, Jl. Boulevard, Jl. Hertasning, Jl. Boulevard dan Jl. Alaudin). Tahapan pengumpulan data menggunakan data primer yaitu data yang digunakan dalam penelitian merupakan data mobilitas kendaraan pada wilayah perkotaan yang disimulasikan berdasarkan data statistic dan kondisi real lalu lintas perkotaan. Data *statistic* digunakan untuk mengetahui volume kendaraan setiap ruas jalan dan untuk penentuan daerah simulasi berdasarkan data mobilitas tertinggi. Sedangkan kondisi real digunakan untuk menentukan nilai dari setiap parameter yang digunakan dalam simulasi. Data primer yang dikumpulkan adalah sebagai berikut :

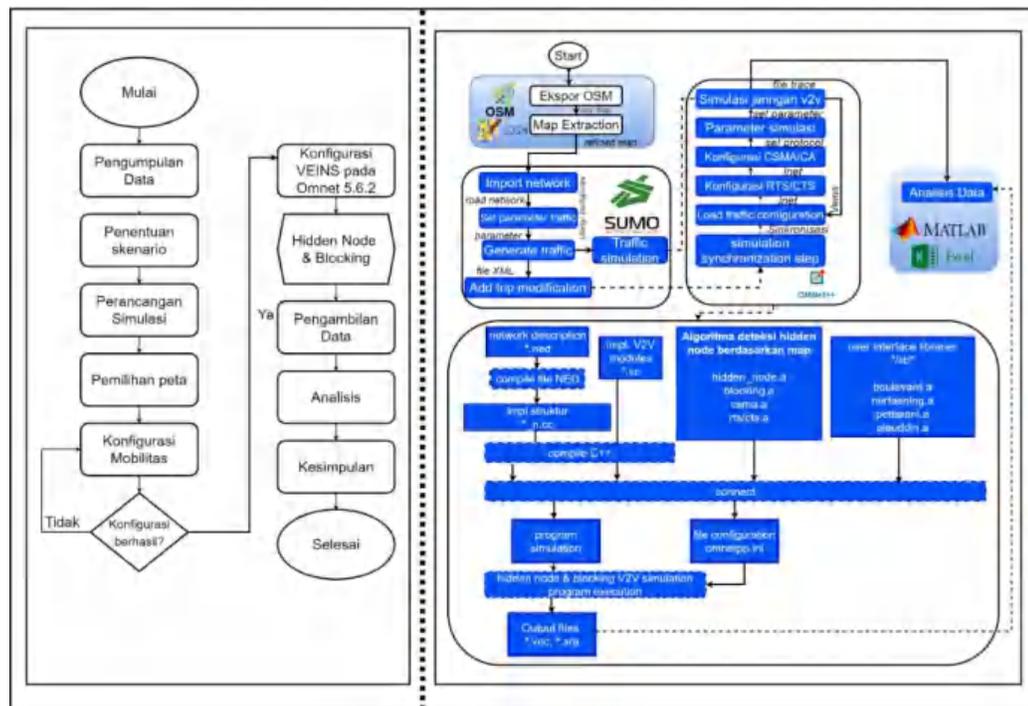
1. Data Geografis yang mencakup informasi tentang lingkungan jalan dan gedung.
2. Data lalu lintas yang realistis untuk lingkungan perkotaan, seperti pergerakan kendaraan, kepadatan lalu lintas, dan kondisi jalan.
3. Data konfigurasi *node*, sumber daya transmisi, kapasitas *node*, dan daya yang diterima.

Adapun tahun pengambilan data primer ditunjukkan seperti pada Gambar 7. Pengumpulan data dilakukan secara real dengan kondisi yang beragam baik saat kendaraan padat ataupun tidak. Hal ini dilakukan untuk mengetahui tingkat mobilitas



n pada Kota Makassar (Jl. Hertasning, Jl Boulevard, Jl. Pettarani, dan Jl.), baik kepadatan, pergerakan kendaraan, kecepatan kendaraan dan ngan jalan.

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pengetahuan tentang penelitian-penelitian serta teori yang terkait dengan model mobilitas di VANET, permasalahan MAC layer dan PHY layer serta parameter untuk membangun mobilitas yang realistis. Setelah model penentuan simulasi dilakukan, selanjutnya adalah perancangan simulasi dan penentuan peta berdasarkan wilayah penelitian, penelitian menggunakan realmap serta dua *generator*, yaitu SUMO 3.18 dan Omnet 5.6.2 ++ untuk simulasi VANET. Merancang scenario mobilitas VANET dimulai dengan merancang map pergerakan node, membuat rute lalu lalu lintas yang diambil dari *OpenStreetMap* dan mengimplementasikan pergerakan. Bagian desain dari map menggunakan peta nyata yang menggunakan lalu lintas jalan raya.



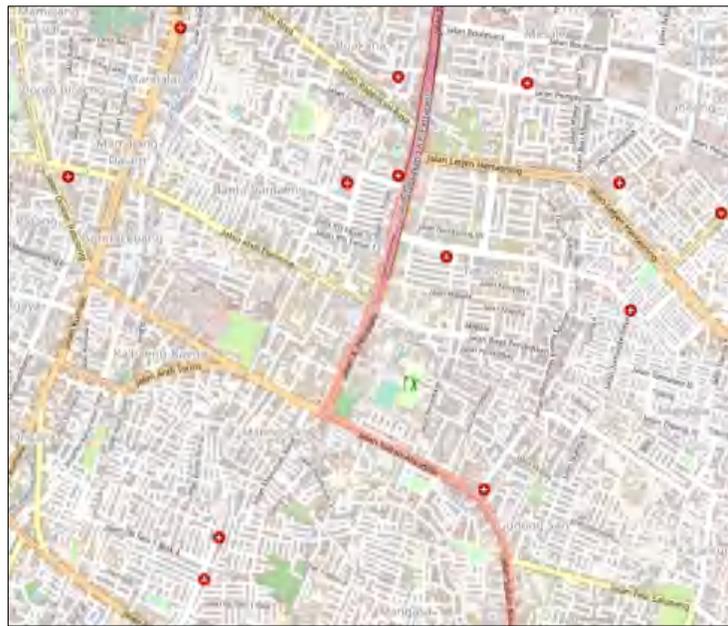
Gambar 7 Tahap pengambilan data

1. Pengambilan data area simulasi menggunakan *Open StreetMap*

Pengambilan data area simulasi menggunakan *OpenStreetMap* lokasi yang digunakan dalam penelitian untuk area simulasi adalah wilayah Jl. AP. Pettarani, Jl. D. Hertasing dan Jl. Alauddin. Wilayah tersebut dipilih berdasarkan data acetan di kota Makassar (Kuku, Ramli dan Rauf, 2022). Selain itu rekapitulasi



identifikasi titik kemacetan berdasarkan penelitian (Basri Said dan Syafey, 2021) menyebutkan bahwa rekapitulasi titik kemacetan lalu lintas di 67 ruas jalan menunjukkan 390 titik kemacetan beberapa diantaranya adalah Jl. Pettarani dengan total 22 titik, Jl. Boulevard 5 titik, Jl. Alauddin 9 titik dan Jl. Hertasning 18 titik kemacetan. Wilayah jl. Alauddin dipilih karena merupakan wilayah dengan kepadatan lalu lintas yang sangat tinggi dengan kapasitas yang sangat kurang sehingga sering terjadi kemacetan, hal ini dikarenakan jl. Alauddin merupakan salah satu jalan akses dari sisi utara Jl. Pettarani (Lufritayanti and Annisa, 2020). Selain itu pengambilan peta jalan menggunakan OSM dengan inputan berupa koordinat-koordinat peta jalan seperti pada Gambar 8.



Gambar 8 OpenStreetMap Wilayah Makassar, Indonesia

Terdapat beberapa data input yang digunakan pada penelitian, yakni sebagai berikut:

a. *Node*

Setiap *node* memiliki posisi masing-masing dan berpindah-pindah dari satu titik ke titik lainnya berdasarkan kondisi jalanan (*random*), selain itu *node* mempunyai kecepatan yang tinggi. Pengaturan umum yang menjadi suatu input untuk mengatur protokol seperti *routing protocol*, *transmission protocol*, dan lain-lain. Posisi letak ditentukan maksimal dengan radius 300 meter, sesuai dengan komunikasi DSRC.



b. Role

Role yaitu tugas yang diberikan pada *node*. 2 *role* yang berbeda yaitu *sender* (pengirim) dan *receiver* (penerima). *Sender* berperan sebagai *node request* yang mengirim paket data menuju *receiver*. *Receiver* mempunyai peran mengirimkan *reply* pesan yang berisi informasi paket dan berperan menerima paket data yang dikirimkan oleh *sender*.

c. Kecepatan

Kecepatan dalam simulasi maksimal yaitu 13,89 *m/s* atau setara dengan 50 km/jam. Kecepatan simulasi ini disesuaikan dengan peraturan yang sudah ditetapkan pada Kementerian perhubungan tentang kecepatan maksimal pada jalan di perkotaan yaitu 50 km/jam.

2. Penentuan parameter simulasi di SUMO

Parameter yang digunakan dalam simulasi terdiri dari 2, yaitu data makroskopis dan mikroskopis dari kawasan Jl. Hertasning, Jl Boulevard, Jl. Pettarani, dan Jl. Alauddin Makassar. Parameter ini diambil karena kepadatan kendaraan di masing-masing wilayah.

Demikian juga halnya dengan distribusi kendaraan yang tidak merata pada daerah ini yang disebabkan oleh karakteristik kota, dimana kecenderungan wilayah ekonomi yang ditempatkan pada satu lokasi yang sama. Hal ini mengakibatkan penumpukan kendaraan di titik-titik tertentu. Data mikroskopis yaitu dengan parameter yang digunakan dalam penelitian seperti lalu lintas, arah gerak kendaraan termasuk posisi sumber dan tujuan kendaraan, jumlah *traffic light*, durasi *traffic light* serta kecepatan kendaraan. Parameter dipilih karena mempengaruhi kinerja dari simulasi jaringan, yaitu sebagai berikut:

a. Aturan lalu lintas yang dibangun dalam penelitian disesuaikan dengan keadaan



stis di area simulasi. Aturan lalu lintas tersebut yakni jumlah lajur setiap jalur, batas jalan yang diatur sebagai konektivitas lajur, arahan belok kiri langsung persimpangan jalan, mobil yang harus berhenti ketika lampu lintas

menunjukkan warna merah dan dapat berjalan kembali ketika lampu berwarna hijau.

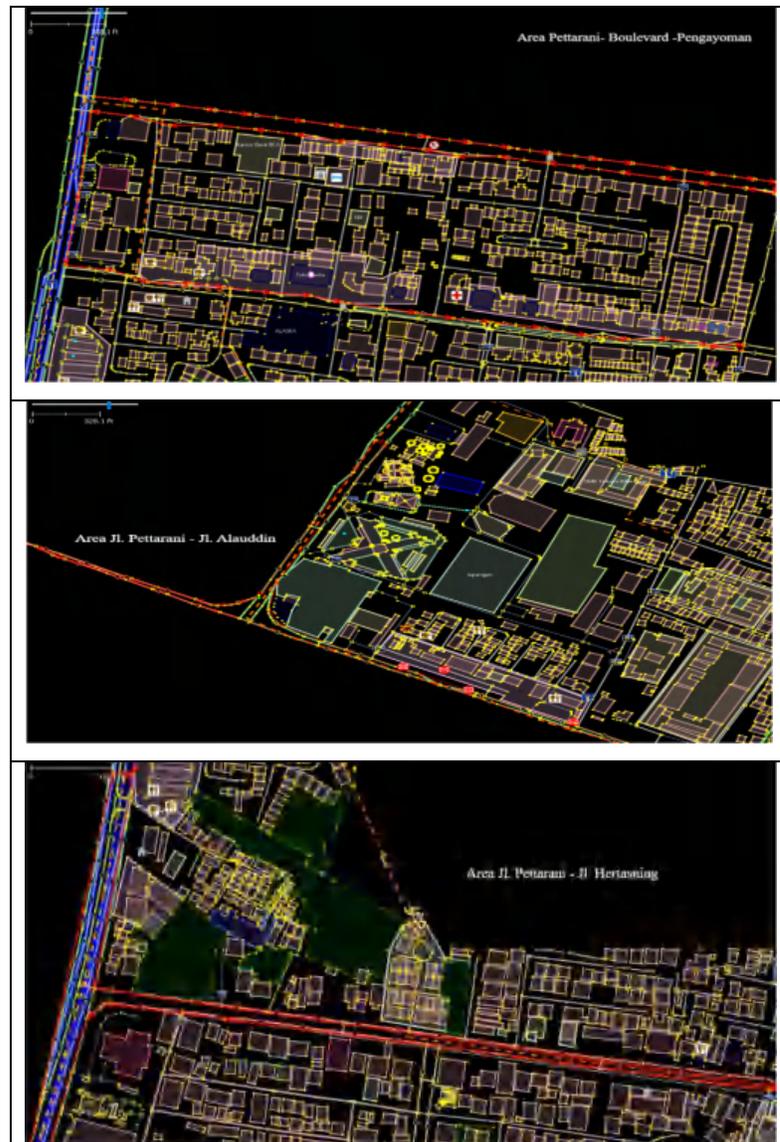
- b. Arah gerak kendaraan yang dimaksud dalam penelitian adalah rute keberangkatan dan tujuan kendaraan selama simulasi berlangsung. Adapun rute kendaraan yang digunakan adalah seluruh jalur simulasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.
- c. Waktu dan Durasi pengambilan data mobilitas kendaraan dilakukan pada hari senin sampai dengan hari minggu selama 1 bulan yaitu pada bulan April 2022. Waktu pengambilan data yaitu kondisi lengang dipagi hari dari 08.00 – 09.00 WITA, dan kondisi padat yaitu mulai pukul 07.00 – 08.00 WITA. Kondisi lengang pada siang hari yaitu antara pukul 09.00 – 10.00 WITA dan kondisi padat siang hari yaitu antara pukul 10.00 – 11.00 WITA. Sedangkan untuk sore hari, kondisi lengang terjadi pukul 14.00 – 15.00 WITA, dan kondisi padat terjadi pada pukul 16.00 – 17.00 WITA (Ulfah, Aly dan Ramli, 2017). Penentuan jumlah *node* berdasarkan realistik jalan raya seperti terlihat pada Tabel 2 dibawah ini :

Tabel 2 Kapasitas volume lalu lintas Tahun 2019

Waktu	Data volume lalu lintas (smp/jam) Tahun 2019				
	Jalan Hertasning	Jalan Boulevard	Jalan Pengayoman	Jalan Pettarani	Jalan Alauddin
07.00 s/d 08.00	925	213	293	473	942
08.00 s/d 09.00	986	587	482	554	732
09.00 s/d 10.00	880	453	441	621	514
10.00 s/d 11.00	973	482	349	763	626
12.00 s/d 13.00	921	623	428	592	614
14.00 s/d 15.00	835	482	431	438	419
16.00 s/d 17.00	848	464	584	487	609
17.00 s/d 18.00	867	563	575	317	614
Total	7.235	3.867	883	3.845	4.370
Rata-rata	904.37	483.37	447.87	530.62	633..75

(Sumber Dinas Perhubungan Kota Makassar)





Gambar 9 Rute pengiriman dan rute tujuan selama simulasi di Jl. Pettarani dan Jl. Hertasning Makassar, Jl. Boulevard, Jl Pengayoman dan Jl. Alauddin Makassar

Berdasarkan tabel diatas, volume kendaraan yang dibagi dalam satuan mobil penumpang pada jalan Pettarani sebanyak 6.905 smp/jam, jalan Boulevard sebanyak 2.567 smp/jam, jalan Pengayoman 883 smp/jam, Jl. Hertasning 3.845 smp/jam dan Jl. Alauddin 4.370 smp/jam. Sehingga jumlah keseluruhan kendaraan di area simulasi 309.50 smp/jam.



(Fidayah, Indrabayu dan Areni, 2018) menyesuaikan waktu simulasi dengan real yaitu selama 60 detik atau 1 menit sehingga jumlah kendaraan (*node*) akan

disesuaikan menurut periode simulasi dengan jumlah kendaraan menggunakan rumus 1 sebagai berikut :

$$K = \frac{(N \times T)}{60} \quad (1)$$

Dimana :

K = jumlah kendaraan yang sesuai dengan waktu simulasi

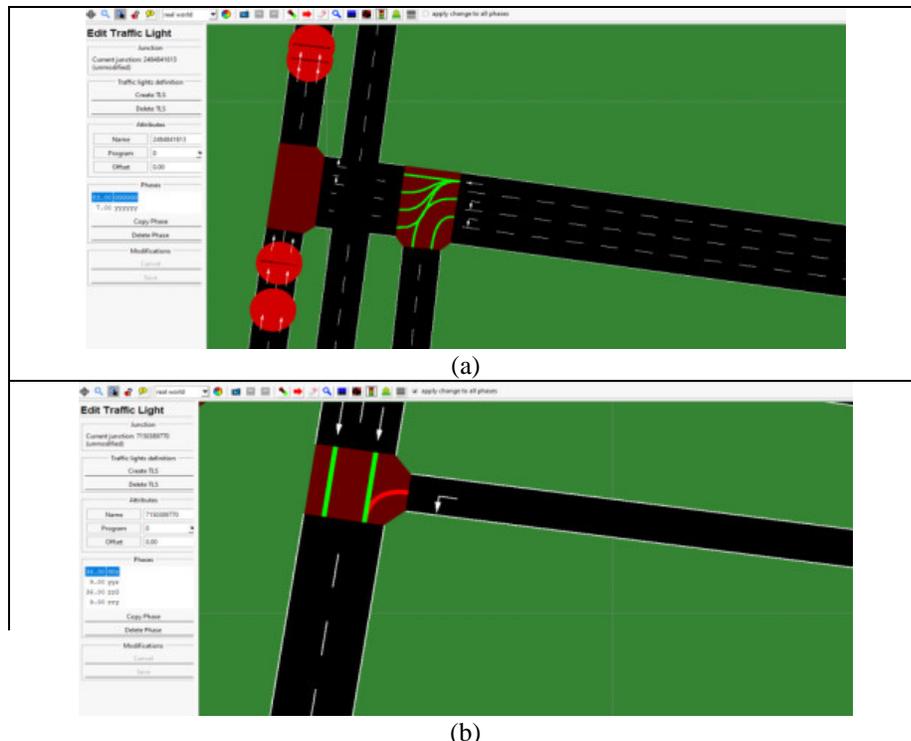
N = Jumlah kendaraan per jam

t = waktu simulasi yaitu selama 60 detik atau 1 menit.

Dimana K merupakan jumlah kendaraan yang sesuai dengan waktu simulasi, N merupakan jumlah kendaraan per jam yaitu sebanyak 24.000 smp/jam, t merupakan waktu simulasi yaitu selama 60 detik atau 1 menit. Sehingga diperoleh:

$$K = \frac{(N \times T)}{60} = \frac{24.000 \times 1 \text{ menit}}{60} = 400 \text{ node}$$

Maka jumlah *node* yang digunakan dalam simulasi sebanyak 400 node. Gambar 10 merupakan scenario konektifitas traffic light yang mengenai jangkauan simulasi yaitu dipertigaan antara Jl. AP. Pettarani - Jl. Hertasning, dan Jl. Pettarani – Jl. Boulevard.



Gambar 10 Konektifitas traffic light (a) Hertasning-Boulevard (b) Hertasning-Pettarani



- d. Format peta yang diolah dalam simulasi bersumber dari *OpenStreetMap* dengan skala peta yaitu $832 \times 695 \text{ m}^2$.
- e. Nilai parameter simulasi di SUMO.

Parameter simulasi untuk mobilitas V2V yaitu terdiri dari parameter SUMO dan parameter VEINS berdasarkan kebutuhan simulasi dan variabel yang mempengaruhi kinerja di PHY *layer* dan MAC *Layer*.

Adapun parameter yang digunakan di SUMO berdasarkan penginputan parameter simulasi dengan menggunakan fungsi Netedit 0.30.0 seperti ditunjukkan pada Gambar 11. Adapun parameter simulasi mobilitas V2V untuk SUMO ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut ini.

Tabel 3 Parameter simulasi mobilitas V2V (SUMO)

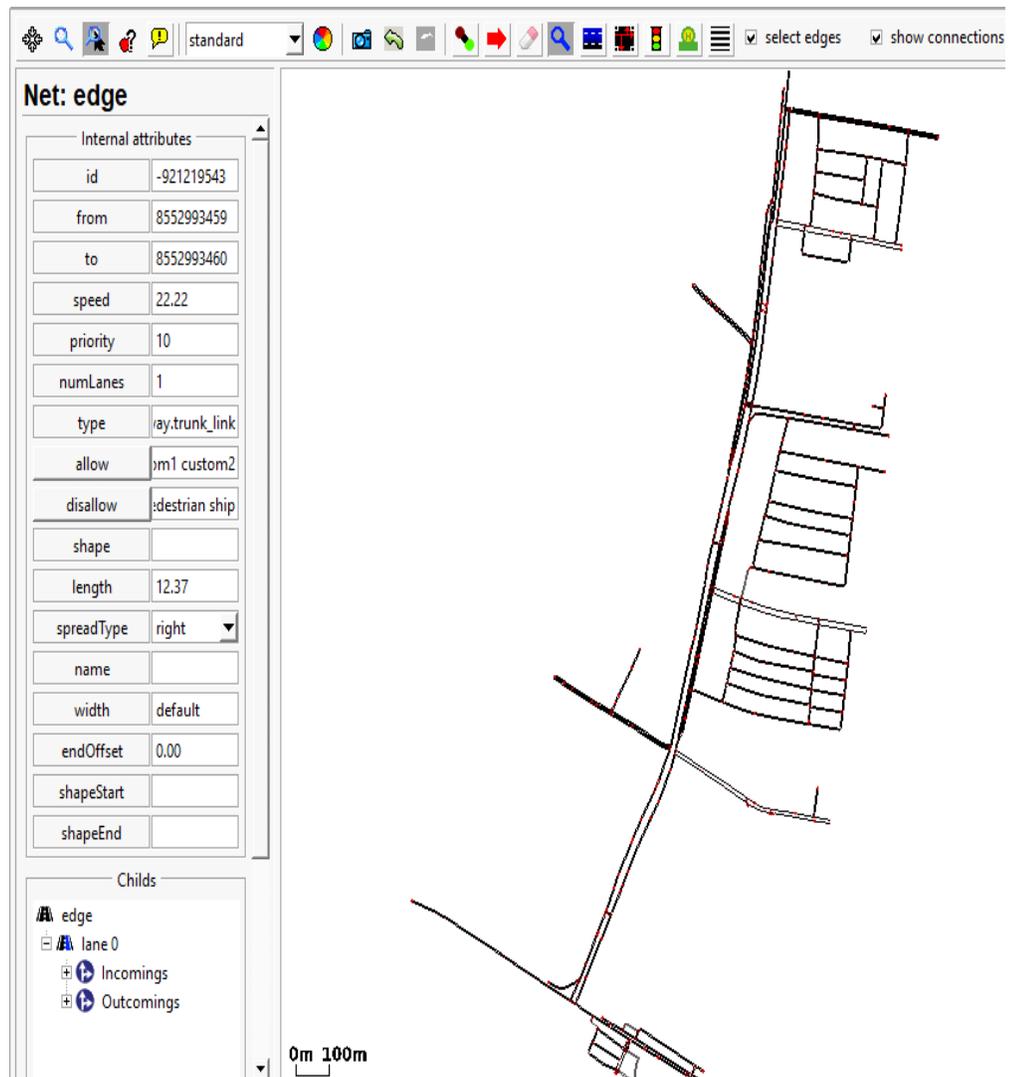
Parameter SUMO	Nilai
Area simulasi	Makassar [hertasning, pettararani, boulevard, alauddin]
Jumlah node	60, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400
Jumlah traffic light	6
Durasi simulasi [s]	100 s
Transisi traffic light	Sesuai kondisi nyata
Pergerakan node	Acak
Posisi awal node	Acak

Tabel 4 Parameter simulasi mobilitas V2V di Omnet 5.6.2 (VEINS)

Parameter VEINS	Nilai
Tipe pesan	BSM
Ukuran paket	20 Mbps
Modulation and Coding Schemes (MCS)	QPSK
MAC protocol	IEEE 802.11p

Elemen jaringan yang digunakan untuk mewakili jaringan jalan di SUMO adalah tepi, jalur, persimpangan, koneksi dan lampu lalu lintas. *Edge* seperti yang terlihat pada Gambar 11 merupakan perjalanan “dari” dan “ke” setiap kendaraan. Jenis kendaraan dibuat dengan menggunakan mode jenis kendaraan agar dapat disesuaikan kondisi nyata. Namun dalam penelitian yang dilakukan hanya menampilkan an roda empat. Perhentian setiap kendaraan di daerah simulasi dibuat dengan nakan *StopFrame*.

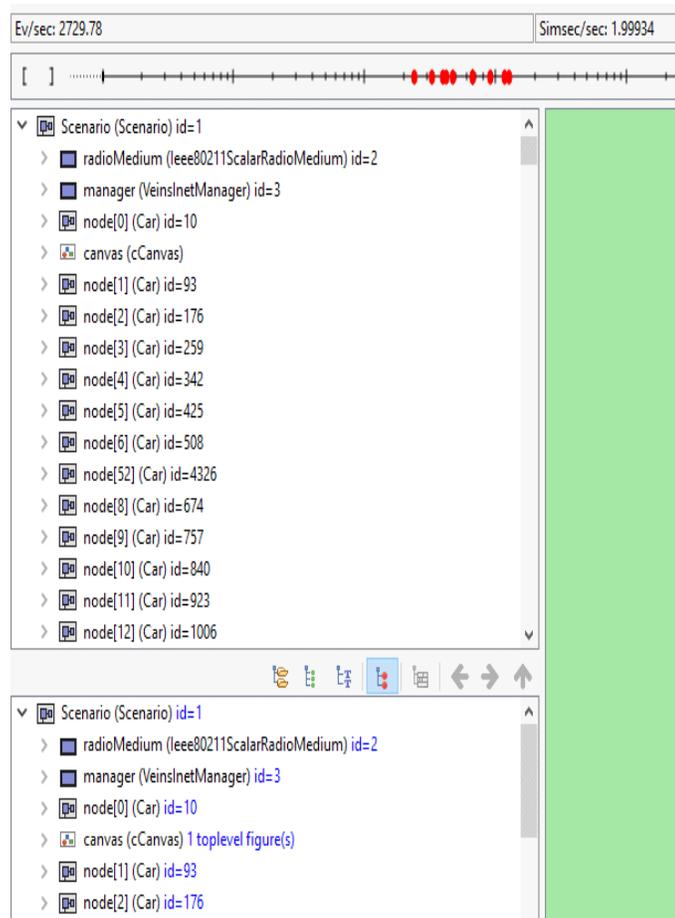




Gambar 11 Input parameter simulasi (SUMO-Netedit)

Pergerakan kendaraan dan posisi awal kendaraan pada penelitian ini adalah *random* sehingga terlihat seperti pada Gambar 12 menampilkan kendaraan bergerak secara *realtime* sesuai dengan *scenario* yang sudah ditentukan. Masing-masing *node* menggunakan *radio medium scalar* atau model media transmisi dari IEEE 802.11p yaitu komunikasi nirkabel. *Radio medium scalar* dapat melacak *transceiver*, sumber kebisingan, transmisi yang sedang berlangsung, *background noises*, dll. Sehingga dari masing-masing kendaraan bersifat *realtime* dikarenakan *radio medium* pat menghitung kapan, dimana dan bagaimana sinyal sampai ke penerima.





Gambar 12 Input parameter simulasi Omnet ++ (Veins Inet)

Adapun *source code* untuk menentukan parameter komunikasi V2V dalam penelitian adalah seperti terlihat pada Gambar 13.

```

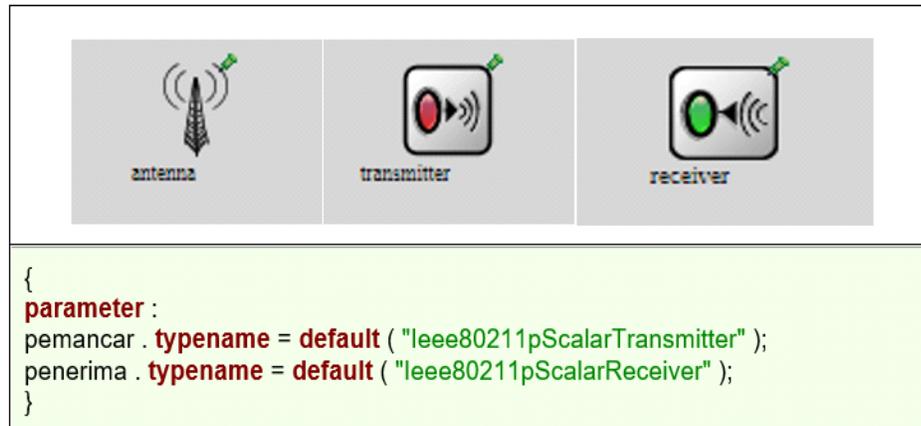
propagation: <default("ConstantSpeedPropagation")> like IPropagation;
analogModel: <default("ScalarAnalogModel")> like IAnalogModel;
backgroundNoise: <default("IsotropicScalarBackgroundNoise")> like IRadioBackgroundNoise
    if typename != "";
pathLoss: <default("FreeSpacePathLoss")> like IPathLoss;
obstacleLoss: <default("")> like IObstacleLoss
    if typename != "";
mediumLimitCache: <default("MediumLimitCache")> like IMediumLimitCache;
communicationCache: <default("VectorCommunicationCache")> like ICommunicationCache;
neighborCache: <default("")> like INeighborCache
    if typename != "";

```

Gambar 13 *Source code* penentuan parameter IEEE 802.11p untuk melacak *transceiver* dan *receiver*

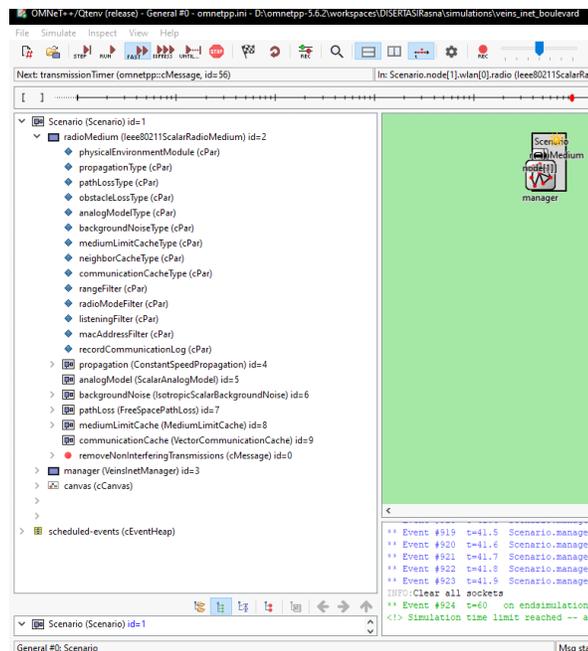


Model propagasi pada simulasi dilakukan agar dapat diperoleh pergerakan pemancar dan penerima. *Source code* ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14 *Source code* transceiver dan receiver

Untuk membantu proses pemodelan, model lingkungan PHY layer, ditambahkan bangunan, medan, cuaca serta objek yang mungkin berpengaruh pada perambatan sinyal radio dan pergerakan, sehingga parameter untuk *scenario hidden node* dan *blocking problem* terlihat seperti pada Gambar 15.



Gambar 15 Parameter PHY Layer untuk simulasi



Canvas seperti yang terlihat pada Gambar 15 digunakan sebagai *visualizer* dalam jaringan V2V yaitu untuk menampilkan hambatan dan memvisualisasikan hilangnya sinyal individu dari hambatan tersebut.

Physical environment bertindak sebagai database yang dapat dikueri oleh bagian lain dari simulasi saat *runtime*. *Source code physical environment Phy Layer* setiap kendaraan ditunjukkan pada Gambar 16.

```
ground: <default("")> like IGround if typename != "";
objectCache: <default("")> like IObjectCache if typename != "";
```

Gambar 16 *Source code Physical environment PHY layer V2V*

Untuk menggunakan koordinat geografis dalam simulasi *hidden node V2V*, sistem koordinat geografis dikonfigurasi untuk menempatkan kendaraan sesuai dengan lokasi dan orientasi geografis tertentu seperti ditunjukkan dengan *source code* pada Gambar 17 berikut ini.

```
*.physicalEnvironment.coordinateSystemModule = "coordinateSystem"
*.*.mobility.coordinateSystemModule = "coordinateSystem"
*.coordinateSystem.sceneLongitude = -71.070421deg
*.coordinateSystem.sceneLatitude = 42.357824deg
*.coordinateSystem.sceneHeading = 68.3deg
```

Gambar 17 *Source code koordinat geografis simulasi hidden node V2V*

Agar simulasi realistis, penelitian ini menambahkan beberapa hambatan seperti dinding, pohon, dan bangunan sebagai penghambat perambatan sinyal radio. *Source code* untuk merepresentasikan hambatan dalam *Physical environment* seperti ditunjukkan pada Gambar 18:

```
submodules:
  physicalEnvironment: PhysicalEnvironment {
    @display("p=580,425");
  }
```

Gambar 18 *Source code hambatan pada PHY environment*

```
Set val(x) 500
```

```
Set al (y) 400
```

Gambar 19 Konfigurasi area simulasi



Hambatan dinding pada *Physical environment* dibuat ke dalam *source code* seperti pada Gambar 20 berikut ini :

```
<environment>
  <object position="min 130 300 0" orientation="0 0 0" shape="cuboid 5 100 4"
    material="concrete" fill-color="203 65 84" opacity="0.8"/>
</environment>
```

Gambar 20 *Source code* untuk menambahkan hambatan dinding pada simulasi

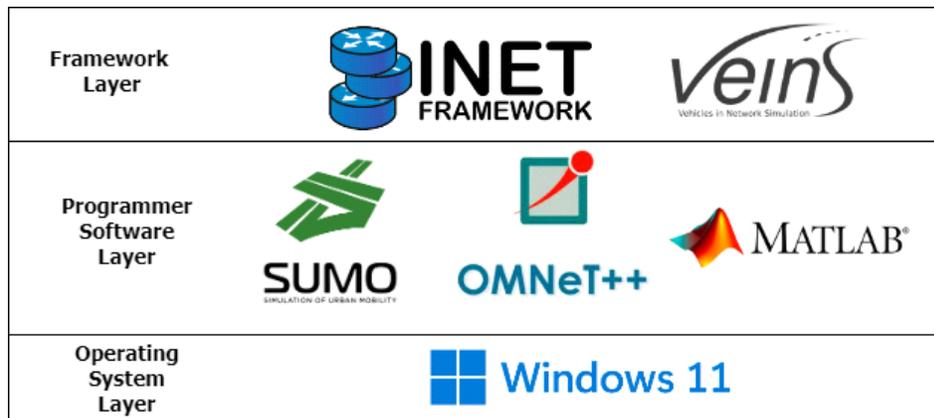
2.1.5 Instrumen penelitian

Dalam penelitian eksperimental dan simulasi mengenai V2V, instrumen yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Perangkat keras
 - a. Komputer dengan Prosesor minimum Core i5
 - b. Hardisk 2 TB SSD
2. Perangkat lunak (Pengumpulan data secara langsung).

Penggunaan perangkat lunak digunakan untuk menganalisis dan mengamati dampak *hidden node* dengan mengukur parameter *throughput*, PDR, dan E2E (Dodd, 2002; Julie K Petersen, 2002; Cho *dkk.*, 2010). Throughput dalam konteks V2V merujuk pada jumlah data yang dapat ditransfer antara kendaraan satu dengan yang lain dalam jaringan komunikasi V2v seperti pesan keselamatan, informasi lalu lintas. PDR dalam konteks V2V mengacu pada rasio jumlah paket data yang berhasil dikirim dari satu kendaraan ke kendaraan lain dibandingkan dengan jumlah total paket data yang dikirim. Sedangkan E2E delay adalah mengacu pada waktu yang diperlukan untuk data dikirimkan dari kendaraan pengirim ke kendaraan penerima. Kemudian untuk simulasi digunakan dalam konteks V2V, untuk menguji komunikasi V2V, algoritma adaptasi, dan skenario dalam lingkungan virtual ditunjukkan pada Gambar 21. Sehingga simulasi dapat membantu dalam memodelkan efek *hidden node* dan menganalisis bagaimana protokol komunikasi tertentu berskala dengan variasi jumlah kendaraan.





Gambar 21 Kebutuhan sistem perangkat lunak pendukung

Adapun perangkat lunak yang digunakan adalah sebagai berikut :

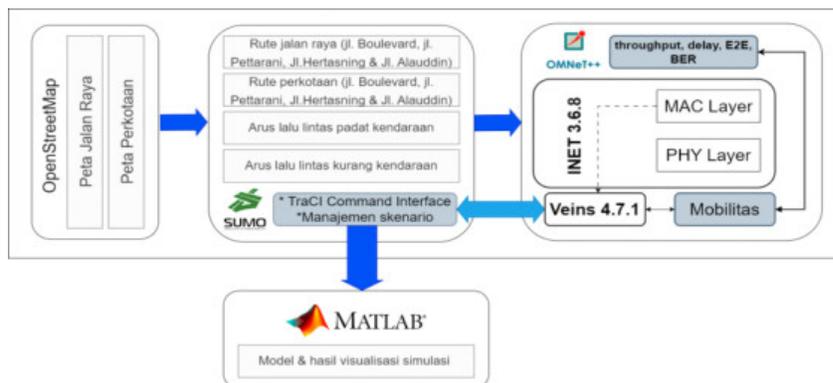
- a. OMNET 5.6.2 ++ digunakan dalam penelitian untuk memodelkan jaringan kendaraan secara *wireless* dan evaluasi performansi kinerja jaringan simulasi. Parameter kinerja jaringan pada hasil simulasi untuk penelitian ini antara lain *packet loss*, *throughput*, *delay*, total bit yang diterima, total bit yang dikirim, jumlah packet yang diterima, dan rata-rata paket per detik. Selain parameter kinerja yang digunakan untuk simulasi penelitian, pemodelan kondisi pergerakan V2V menghasilkan file *output* yang berisi data *record* pergerakan *node* ke dalam *script code* pada OMNET++, sehingga diperoleh data informasi yang menghubungkan antara pergerakan *node* dan parameter-parameter kinerja.
- b. *Simulation of Urban Mobility* (SUMO) 3.18
- c. Matlab R2021b digunakan didalam penelitian untuk menganalisis data, mengembangkan model dan visualisasi dari hasil simulasi.
- d. INET 4.25 digunakan dipenelitian untuk memperoleh modul komponen dari IEEE 802.11p, model UDP, *link layer*, mobilitas, *protocol* untuk komunikasi V2V.
- e. Veins 5.2 digunakan dalam penelitian untuk menkonfigurasi jumlah *node*, waktu simulasi daya antenna pemancar dan penerima, jumlah



paket, interval pengiriman paket, *protocol routing*, jenis mobilitas *node* dan kecepatan *node*.

- f. *JavaScript Object Model* (JSOM).
- g. Sistem operasi menghubungkan perangkat keras dengan perangkat lunak untuk mengelola file dan aplikasi yang digunakan dalam penelitian.

Berdasarkan penjelasan diatas, Gambar 22 menunjukkan model simulasi dari masing-masing framework yang digunakan dalam penelitian.

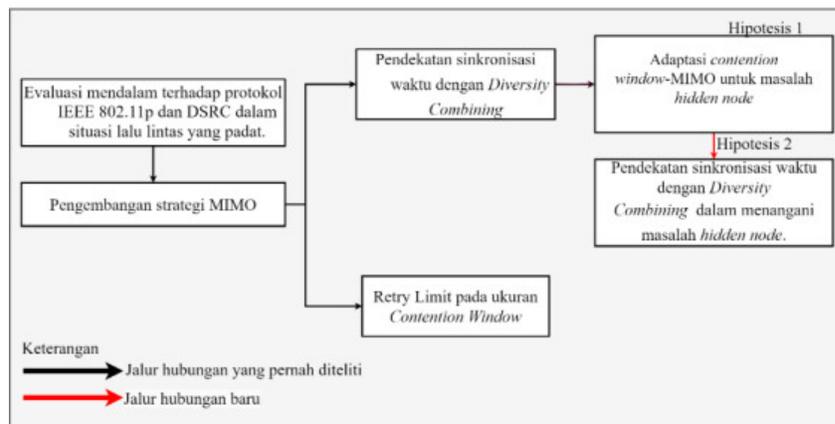


Gambar 22 Model simulasi dengan *framework layer*

2.2 Hipotesis Penelitian

Hipotesis 1: Adaptasi *contention window*-MIMO untuk masalah *hidden node*

Hipotesis 2: Pendekatan sinkronisasi waktu dengan *Combining diversity* dalam menangani masalah *hidden node*.



Gambar 23 Model hipotesis



Gambar 23 memberikan representasi visual dari model hipotesis yang menggambarkan hubungan saling ketergantungan antara hipotesis yang telah dijelaskan sebelumnya. Model ini memvisualisasikan cara setiap hipotesis saling berhubungan dan bagaimana mereka berkontribusi terhadap pemahaman menyeluruh tentang komunikasi V2V. Di sisi lain, Tabel 5 menyajikan rumusan hipotesis beserta sumber referensi yang menjadi dasar dan dukungan teoritis bagi setiap hipotesis.

Tabel 5 Rumusan hipotesis dan penelitian terkait

No	Rumusan hipotesis	Penelitian terkait	Keterangan
1	Evaluasi protocol IEEE 802.11p dalam situasi lalu lintas yang padat.	(Oni dan Blostein, 2019; Lanante, Ghosh dan Roy, 2020; Lin <i>dkk.</i> , 2020)	-
2	Pengembangan strategi MIMO.	(Al-Janabi dan Al-Raweshidy, 2019; Maatouk, Assaad dan Ephremides, 2019)	-
3	Pendekatan sinkronisasi waktu dengan <i>combining diversity</i> .	(Kanellopoulou, Peppas dan Mathiopoulos, 2018; Amor <i>dkk.</i> , 2019; Tengshe, Kumar dan Platonov, 2019; Wang <i>dkk.</i> , 2020; Wu <i>dkk.</i> , 2020; Liang <i>dkk.</i> , 2021)	-
4	<i>Retry limit</i> pada ukuran <i>Contention Window</i> .	(Kumar, Choi dan Kim, 2019)	-
5	Adaptasi <i>Contention Window</i> -MIMO untuk masalah <i>hidden node</i> .	(Jeon <i>dkk.</i> , 2018; Shah <i>dkk.</i> , 2020; Triwinarko, Dayoub dan Cherkaoui, 2021)	Hipotesis 1
6	Pendekatan sinkronisasi waktu dengan <i>combining diversity</i> dalam menangani masalah <i>hidden node</i> .	-	Hipotesis 2



2.3 Link Budget V2V untuk area simulasi

Link budget digunakan dalam simulasi di OMNET++ untuk memodelkan dan melakukan analisis performa jaringan nirkabel V2V. *Link budget* ini menggambarkan kekuatan sinyal yang dimulsi dari pengirim dan berkurang pada setiap tahap transmisi, termasuk redaman (*attenuation*) dari jarak, efek interferensi, dan *noise*. Dalam konteks permasalahan *hidden node*, penggunaan link budget memungkinkan penentuan tingkat keberhasilan komunikasi antara *node-node*. Sehingga simulasi dapat mengestimasi kekuatan sinyal yang diterima oleh setiap *node*, penyesuaian daya transmisi sehingga meminimalkan peluang terjadinya interferensi yang tidak terdeteksi, seperti ditunjukkan pada persamaan 2.

$$P_e = P_s + G_s + G_e - L \quad (2)$$

Dimana:

P_e = daya yang diterima (dBm).

P_s = daya pancar (dBm).

G_e = Gain antena transmisi (dBi).

G_s = Gain antena pemancar (dBi).

L = *path loss* (dB).

Dari persamaan diatas, meskipun daya pancar sinyal dari *hidden node* mungkin cukup kuat, penerima yang berada diluar jangkauan langsung tidak akan menerima sinyal dengan baik karena penguatan antena transmisi mungkin tidak cukup untuk mencapai *node* penerima. Kemudian pengaruh *path loss* adalah bahwa sinyal radio melewati rintangan seperti tembok atau hambatan lainnya di jalan, sehingga kekuatan sinyal dapat berkurang secara signifikan. Meningkatnya *path loss* juga dapat meningkatkan probabilitas terjadinya *hidden node* dan mempengaruhi kualitas komunikasi nirkabel antar *node*. Sehingga diperoleh hasil parameter disesuaikan seperti pada Tabel 6.



Tabel 6 Parameter link budget

Parameter	Nilai	Keterangan
ncar (P_s)	20 dBm	

Parameter	Nilai	Keterangan
Gain antenna transmisi (G_e)	2-9 dBi	
Gain antenna pemancar (G_s)	2-4 dBi	
Path loss (L)		
- Jarak 50 m	70 dB	Kendaraan dalam kawasan perkotaan dengan kondisi perkotaan yang padat
- Jarak 200 m	90 dB	Kendaraan dalam kawasan perkotaan yang padat
Teknik akses	CSMA/CA, RTS/CTS	
Frequency	5.9 GHz	
Bandwidth	10 MHz	
Modulasi	OFDM, BPSK, QPSK	
Sensitivitas	-85 s/d -95 dBm	
Power Tx	20 s/d 30 dBm	
Noise penerima	10 dB	
BER	10^{-5}	
Mode komunikasi	broadcast	
Panjang gelombang	5,08 cm	

1. Jarak 50 m (70 dB)

Perhitungan daya yang diterima (Received Power) :

Received power = Transmitted power + Gain antenna transmisi – path loss + Gain antenna penerima

$$\begin{aligned}
 &= 20 \text{ dBm} + 9 \text{ dBi} - 70 \text{ dB} + 4 \text{ dBi} \\
 &= 100 \text{ mW} + 9 \text{ dBi} - 70 \text{ dB} + 4 \text{ dBi} \\
 &= 100 \text{ mW} + (10^{(9/10)}) - 70 \text{ dB} + (10^{(4/10)}) \\
 &= 100 \text{ mw} + 7,943 \text{ mW} - 70 \text{ dB} + 2,512 \text{ mW} \\
 &= 121,91 \text{ mW} \\
 &= 20,85 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W) &= 10^{(\text{Daya (dbm)}/10)} \\
 &= 10^{(20/10)} \\
 &= 100 \text{ mW}
 \end{aligned}$$



Gain antenna transmisi = $10^{(9/10)} = 7,943$ dB

Gain antenna penerima = $10^{(4/10)} = 2,512$ dB

Kemudian untuk mengkonversi daya 0.081942 mW ke sensitifitas minimum dBm :

$$\begin{aligned} \text{Sensitivitas minimum (dBm)} &= 10 * \log^{10} (\text{Daya (mW)}) \\ &= 10 * \log^{10} (121,91) \\ &= 20,08 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Perhitungan peningkatan koefisien path loss ditunjukkan pada persamaan 3 berikut ini:

$$L = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (3)$$

Dimana:

L = Path loss (dB)

λ = panjang gelombang (meter)

d = jarak antenna pemancar dan penerima (m)

sehingga dengan jarak antenna minimal 100 meter dan maksimal 300 meter dengan frekuensi 5,9 GHz, gain antenna transmisi 7,943 dB dan gain antenna penerima 2,512 dB maka path loss untuk jarak minimum dan maksimum adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Path loss (min)} &= 20 * \log^{10}(100) + 20 * \log^{10}(5,9) - 7,943 - 2,512 + 147,55 \\ &= 50 + 2,771 - 7,943 - 2,512 + 147,55 \\ &= 189,866 \text{ dB.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Path loss (maksimal)} &= 20 * \log^{10}(300) + 20 * \log^{10}(5,9) - 7,943 - 2,512 + 147,55 \\ &= 54,771 \text{ dB.} \end{aligned}$$

Path loss yang melibatkan kondisi lingkungan, redaman dan interferensi digunakan model log distance yang memberikan estimasi path loss berdasarkan jarak, frekuensi, dan faktor-faktor lainnya, digunakan rumus 4, berikut ini:

$$L = L_0 + 10n \log^{10}(d/d_0) + x \quad (4)$$



loss (dB).

L_0 = path loss pada jarak d_0 (diset 1 meter) (dB).

n = exponent path loss atau faktor redaman.

d = jarak antara pemancar dan penerima (m).

x = variabel yang mewakili redaman maupun faktor lingkungan lainnya (shadowing/interferensi).

2. Jarak 200 m (90 dB)

Received power = Transmitted power + Gain antenna transmisi – path loss + Gain antenna penerima

$$= 100 \text{ mW} + 9 \text{ dBi} - 90 \text{ dB} + 4 \text{ dBi}$$

$$= 100 \text{ mW} + (10^{(9/10)} - 90 \text{ dB} + (10^{(4/10)})$$

$$= 100 \text{ mW} + 7,943 \text{ mW} - 90 \text{ dB} + 2,512 \text{ mW}$$

$$= 100 \text{ mW} + 7,943 \text{ mW} - 0,000000001 \text{ mW} + 2,512 \text{ mW}$$

$$= 100,000000942 \text{ mW}$$

$$= 10 * \log_{10} (100,000000942)$$

$$= 10 * 2$$

$$= 20 \text{ dBm}$$

- 100 mW ke dBm

$$= 10 * \log_{10} 100$$

$$= 10 * 10 \log_{10} (100/1) \text{ dbm}$$

$$= 10 * 2 \text{ dBm} = 20 \text{ dBm}$$



$$\text{Gain transmisi} = 10^{(9/10)} = 7,943 \text{ mW.}$$

$$\text{Gain penerima} = 10^{(4/10)} = 2,512 \text{ mW.}$$

$$\begin{aligned} \text{Sensitivitas minimum (dBm)} &= 10 * \log^{10} (\text{Daya (mW)}) \\ &= 10 * \log^{10} (100,000000942) \\ &= 20 \text{ dBm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Path loss (maksimal)} &= 20 * \log^{10}(300) + 20 * \log^{10}(5,9) - 7,943 - 2,512 + 147,55 \\ &= 54,771 \text{ dB.} \end{aligned}$$

Rentang jarak maksimum untuk sebuah path loss sejauh 200 meter dihitung menggunakan rumus friis sebagai berikut (Friis, 1946):

$$\begin{aligned} 20 \log_{10} (d) &= \text{path loss} - 20 \log_{10} (f) - 20 \log_{10} (c) + G_t + G_r - P_r \\ &= 200 - (20 \log_{10} (5,9 \text{ GHz})) - (20 \log_{10} (3 \times 10^8)) + 7,943 + 2,512 - 147,55 \\ &= 32,743 \end{aligned}$$

$$\log_{10} (d) = 1,637$$

$$d = 10^{1,637} \text{ meter}$$

$$= 45,25 \text{ meter.}$$

Rentang jarak maksimum untuk sebuah path loss sejauh 200 meter adalah sekitar 45,25 meter. Kemudian untuk menghitung rentang jarak maksimum berdasarkan daya yang diterima dengan sensitivitas penerimaan minimum, digunakan rumus 5 berikut ini:

$$\begin{aligned} \text{Received power (dBm)} &= \text{Transmitted Power (dBm)} + \text{Transmit Antena Gain} \\ &\quad (\text{dBi}) - \text{Path loss (dB)} + \text{Received Antenna Gain (dBi)}. \end{aligned} \quad (5)$$

Sehingga jika, Received power (dBm) = -93 dBm (sensitivitas penerimaan minimum). Daya yang dikirimkan sebesar 100 mW (20 dBm), receive antena gain sebesar 2,512 dB dan sensitivitas penerimaan minimum yang ditentukan oleh kecepatan data sebesar 20 Mbps, transmit antena gain sebesar 7,943 dB maka path loss adalah :



$$\begin{aligned} &= 20 \text{ dBm} + 7,943 \text{ dBi} - \text{Path Loss (dB)} + 2,512 \text{ dBi} \\ &= 20 \text{ dBm} + 7,943 \text{ dBi} - 2,512 \text{ dBi} - (-93 \text{ dBm}) \\ &= 20 \text{ dBm} + 10,455 \text{ dBi} + 93 \text{ dBm.} \end{aligned}$$

$$= 113 \text{ dBm}$$

Rentang jarak maksimum menggunakan rumus Friis (Friis, 1946):

$$\text{Path loss (dB)} = 20 * \log^{10}(d) + 20 * \log^{10}(f) + 147,55$$

$$\text{Path loss (dB)} - 20 * \log^{10}(5,9 \text{ GHz}) - 147,55 = 20 * \log^{10}(d)$$

$$(20 * \log^{10}(d)) / 20 = \text{Path loss (dB)} - 20 * \log^{10}(5,9 \text{ GHz}) - 147,55$$

$$d = 10^{((\text{path loss (dB)} - 20 * \log^{10}(5,9 \text{ GHz}) - 147,55) / 20)}$$

Jika digunakan path loss sebelumnya (dB) = -85,112 dB, jarak antenna maksimum adalah :

$$d = 10^{((-85,112 - 20 * \log^{10}(5,9 \text{ GHz}) - 147,55) / 20)}$$

$$= 68,830 \text{ meter.}$$

Jadi, dengan daya yang diterima dengan sensitivitas penerimaan minimum kecepatan data 20 Mbps, rentang jarak maksimum yang dapat dicapai sekitar 68,830 meter untuk path loss dengan jarak 50 meter.

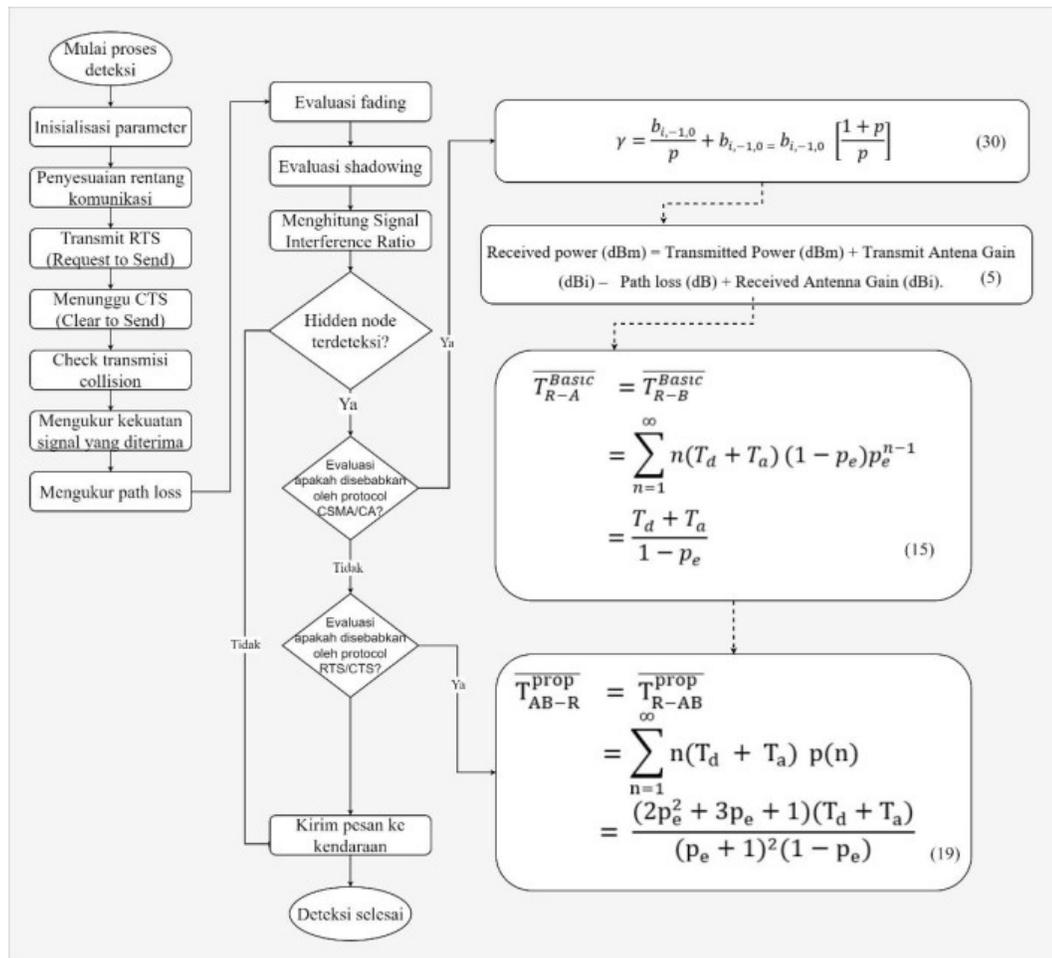
Kemudian untuk sensitivitas penerimaan maksimal ditentukan dengan menjumlahkan daya terima minimum dengan pathloss untuk jarak maksimum yang ingin dicapai. Dengan path loss sebesar -85,112 dB dan jarak maksimum sebesar 68,830 meter dengan menghitung sensitivitas penerimaan maksimum yaitu :

$$\text{Sensitivitas penerimaan maksimum (dBm)} = \text{Received power (dBm)} + \text{Path Loss (dB)}$$

$$= -93 \text{ dBm} + (-85,112 \text{ dB})$$

$$= -178,112 \text{ dBm.}$$





Gambar 24 Flowchart deteksi hidden node yang disebabkan oleh MAC layer

Gambar 24 menunjukkan langkah-langkah dalam deteksi *hidden node* di V2V sebagai berikut:

1. Inisialisasi parameter dan pemilihan rentang komunikasi.

Proses dimulai dengan menginisialisasi parameter sistem untuk komunikasi V2V, kemudian rentang komunikasi dipilih berdasarkan kebutuhan jaringan dan lingkungan.

2. Pengiriman RTS oleh node pengirim:



pengirim mengirimkan pesan RTS untuk menandai kendaraan untuk kirim pesan ke node penerima. Pesan RTS mengandung informasi tentangirim dan tujuan komunikasi.

3. Tanggapan CTS oleh node penerima.
Node penerima memberikan tanggapan CTS jika tersedia, menandakan bahwa penerima siap menerima pesan dari pengirim.
4. Pemeriksaan transmisi yang collision.
Setelah mengirim RTS dan menerima CTS, sistem memeriksa apakah terjadi collision transmisi dengan node lain di sekitar.
5. Pengukuran kekuatan sinyal dan analisis efek lingkungan.
Dilakukan pengukuran kekuatan sinyal yang diterima oleh node penerima kemudian dilakukan analisis terhadap efek *fading*, *shadowing* dan *path loss* untuk memahami karakteristik saluran komunikasi.
6. Perhitungan rasio sinyal terhadap gangguan.
Berdasarkan analisis sinyal, dihitung rasio sinyal terhadap gangguan (SNR) untuk menentukan keberadaan *hidden node*. *Hidden node* terdeteksi jika rasio SNR dibawah batas tertentu.
7. Evaluasi penyebab *hidden node*.
Jika *hidden node* terdeteksi, dilakukan evaluasi untuk menentukan apakah disebabkan oleh protocol akses media CSMA/CA
8. Penyesuaian parameter sistem.
Jika *hidden node* disebabkan oleh CSMA/CA, parameter sistem nilai backoff dan sensitivitas penerima disesuaikan untuk memperbaiki deteksi.
9. Evaluasi terhadap protocol RTS/CTS.
Langkah serupa dilakukan untuk mengevaluasi apakah *hidden node* disebabkan oleh protocol RTS/CTS.
10. Penyesuaian parameter sistem.
Jika *hidden node* disebabkan oleh RTS/CTS, parameter sistem disesuaikan untuk memperbaiki deteksi.
11. Pemantauan dan penghentian proses.

Proses berakhir setelah selesai mendeteksi keberadaan *hidden node* atau setelah semua langkah selesai di eksekusi.

