

ISBN 978-979-097-420-3

FORTEI
2016

SEMARANG
19 - 21 OKTOBER
2016

PROCEEDINGS

SEMINAR NASIONAL
TEKNIK ELEKTRO
2016



PERAN
PENDIDIKAN TINGGI
TEKNIK ELEKTRO INDONESIA
DI ERA **MEA**



**UNIVERSITAS
DIPONEGORO**
BECOMES AN EXCELLENT RESEARCH UNIVERSITY

FORTEI

Forum Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia



YAMAKUBI
PT. YAMAKUBI ENGINEERING SERVICES



TELKOMSEL



Rancangan *Vehicular Visible Light Communication and Ad-Hoc Network (V2LICAN)* Pada Mobil Listrik Cerdas

Widya Cahyadi¹
Universitas Jember
Jember, Indonesia
cahyadi@unej.ac.id

Dimas Waluyo Jati²
Universitas Jember
Jember, Indonesia
i.dmmaz@gmail.co

Bambang Sri Kaloko³
Universitas Jember
Jember, Indonesia
bambangsrikaloko@yahoo.com

Abstrak— Laju perkembangan teknologi Visible Light Communication (VLC) semakin pesat. Teknologi ini mampu menyediakan komunikasi data yang murah namun kuantitas klien yang banyak dengan menggunakan LED dan Photo-dioda. Vehicular Ad-Hoc Networks (VANET) masuk ke dalam sub-disiplin Mobile Ad-Hoc Network (MANET). Keunggulan utama VANET adalah titik nodenya digantikan dengan kendaraan, marka, rambu-rambu dan bahkan dengan bangunan. Kemudian mereka saling bertukar informasi. Berdasarkan jenis perangkat pengguna komunikasinya, teknologi VANET dibagi menjadi dua, yang pertama adalah Vehicle-to-Vehicle (V2V), sesuai dengan namanya, komunikasi ini adalah komunikasi VANET antar kendaraan. Selanjutnya yang kedua adalah Vehicle-to-Infrastructure (V2I), yang merupakan komunikasi antara kendaraan dengan gedung, Wi-Fi, rambu, dan lain-lain. Dalam Paper ini, penulis akan mengajukan tentang penggabungan kedua teknologi tersebut (VLC dan VANET) untuk saling menutupi kekurangan masing-masing teknologi.

Keywords— MANET; mobil listrik; VANET; VLC.

I. PENDAHULUAN

Beberapa dekade terakhir, pengembangan teknologi terhadap kendaraan cerdas sangat pesat, perusahaan-perusahaan otomotif saling berlomba-lomba untuk membuat prototipe mobil listrik cerdas yang mampu untuk melakukan tindakan-tindakan pencegahan kecelakaan. Sebagian besar dari perusahaan pengembang mobil tersebut menggunakan teknologi wireless ad-hoc yang lebih dikenal dengan VANET.

Vehicular Ad-Hoc Networks (VANET) masuk ke dalam sub-disiplin Mobile Ad-Hoc Network (MANET). Keunggulan utama VANET adalah titik nodenya digantikan dengan kendaraan, marka, rambu-rambu, dan bahkan dengan bangunan. Kemudian mereka saling bertukar informasi. Berdasarkan jenis perangkat pengguna komunikasinya, teknologi VANET dibagi menjadi dua, yang pertama adalah

Vehicle-to-Vehicle (V2V), sesuai dengan namanya, komunikasi ini adalah komunikasi VANET antar kendaraan. Selanjutnya yang kedua adalah *Vehicle-to-Infrastructure (V2I)*, yang merupakan komunikasi antara kendaraan dengan gedung, Wi-Fi, rambu, dan lain-lain.

Penerapan teknologi komunikasi tanpa kabel *Visible Light Communication (VLC)* semakin pesat. Teknologi ini mampu menyediakan komunikasi data yang murah namun kuantitas klien yang banyak dengan menggunakan LED dan Photo-dioda. Hal-hal tersebutlah yang menjadi latar belakang penulis untuk membuat paper ini. Dalam Paper ini, penulis akan mengajukan tentang penggabungan kedua teknologi tersebut (VLC dan VANET) untuk saling menutupi kekurangan masing-masing teknologi.

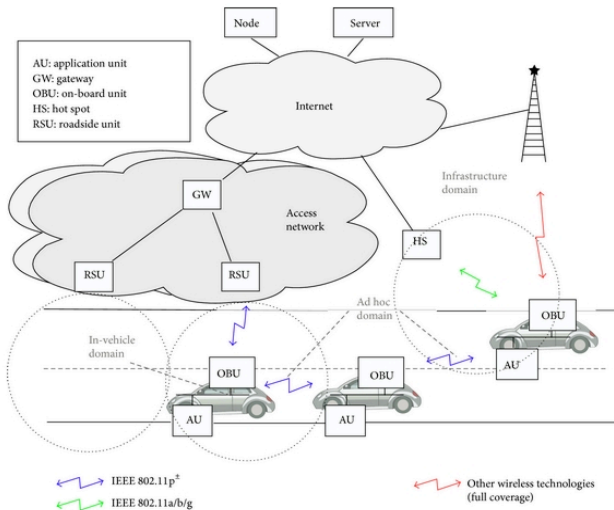
Selebihnya karya tulis ini memaparkan tentang dasar-dasar teknologi yang berkaitan dengan usulan yang kami ajukan, dan selanjutnya diikuti dengan konsep penggabungan VLC dan VANET pada mobil listrik cerdas serta analisis keunggulan dan kekurangannya.

II. ISI

A. Vehicular Ad Hoc Network (VANET)

Vehicular Ad Hoc Network (VANET) adalah sebuah konsep dari jaringan *Wireless Ad Hoc* yang memungkinkan kendaraan berperan sebagai *node* yang mampu berkomunikasi dengan infrastruktur *Roadside Unit (RSU)* atau biasa disebut *Vehicle to Infrastructure (V2I)*, dengan kendaraan lain atau *Vehicle to Vehicle (V2V)*, dan juga meliputi *Roadside to Roadside (R2R)*. VANET harus memiliki topologi yang dinamis, keandalan dan kemampuan *mobility* yang sangat tinggi, bahkan lebih tinggi dibandingkan *Mobile Ad Hoc Network (MANET)* yang biasa, sehingga memungkinkan VANET untuk melalui rute dan mengalami perlakuan yang berbeda dengan cepat [1].

Umumnya VANET memiliki tiga domain utama yang saling terintegrasi, yaitu *Vehicle* atau kendaraan, *ad-hoc* dan infrastruktur. Didalam *Domain Vehicle* terdapat *Application* dan *On-Board Unit*, nantinya, *On-Board Unit* inilah yang akan menggunakan *domain Ad Hoc* dan akan berkomunikasi dengan infrastruktur dan kendaraan lain. Pada domain infrastruktur terdapat *Roadside Unit* (RSU) dan *Hot Spot* (HS).



Gambar 1. Arsitektur VANET [2]

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, domain kendaraan (*In-vehicle*) terdiri dari unit on-board (OBU) dan satu atau beberapa *application units* (AU). Pada domain *ad-hoc* tersusun atas kendaraan-kendaraan yang sudah dilengkapi dengan OBU dan *roadside units* (RSU). Pada jaringan *ad hoc*, OBU berperan sebagai *mobile node*, sedangkan RSU sebagai *static node*. Sebuah RSU dapat terhubung ke Internet melalui gateway; RSU dapat saling berkomunikasi dengan RSU lainnya secara langsung, atau melalui multihop. Terdapat dua jenis akses pada domain infrastruktur, yaitu RSU dan hot spot (HS). OBU dapat berkomunikasi dengan internet melalui RSU atau HS atau melalui infrastruktur lain seperti *cellular data service* (GSM, GPRS, UMTS, HSDPA, LTE, 4G) [3]. Yang membedakan RSU dan HS adalah akses dan standarisasi yang digunakan untuk berkomunikasi dengan OBU. RSU menggunakan frekuensi 5.9 GHz (5.850-5.925 GHz) yang dikhususkan untuk *Wireless Access in Vehicular Environments* (WAVE) atau IEEE 802.11p, sedangkan HS dapat menggunakan frekuensi 5 GHz dan atau 2,4 GHz (802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n dan 802.11ac).

B. Visible Light Communications (VLC)

Visible Light Communications merupakan teknologi komunikasi dimana spektrum tampak (*visible spectrum*) dimodulasi untuk mengirimkan data.

Pada spektrum elektromagnetik, *visible spectrum* mencakup 350-800 nm dari panjang gelombang dan rentang frekuensi $4,3 \times 10^{14}$ Hz dan $7,5 \times 10^{14}$ Hz.

Cahaya tampak (*visible light*) tidak lagi hanya sebagai media penerangan, kemungkinan dapat digunakan sebagai media penyampaian informasi. Dengan adanya teknologi yang memanfaatkan cahaya tampak (*visible light*) sebagai media komunikasi, seseorang tidak harus membeli sebuah *access point* untuk menerima data, akan tetapi hanya menggunakan cahaya tampak dari lampu saja. Dengan demikian tingkat efisiensi dan mobilitas akan lebih tinggi. Hanya dengan menghidupkan lampu saja dan komunikasi data dapat dilakukan.

Bermula dari penelitian **Dominic C. O' Brien** [4], dari University of Oxford bersama dengan timnya pada tahun 2011, yang menganalisis kemungkinan dan peluang memanfaatkan cahaya tampak dalam sistem komunikasi. Mereka memprediksi bahwa penerangan umum akan menggunakan LED putih di masa depan, mengingat efisiensi dari *solid state* yang satu ini sangat besar. Dengan menggunakan LED sebagai penerangan akan menghemat daya yang digunakan dan umur pemakaian lebih panjang dibandingkan dengan lampu yang ada saat ini. Mereka membuktikan bahwa lampu LED memiliki peluang untuk menghasilkan iluminasi yang simultan dan dapat dipakai dalam komunikasi data. Penelitian ini lebih menitikberatkan kepada komponen *solid state* tersebut sebagai komponen yang akan menggantikan teknologi dalam penerangan di masa depan. Dalam penelitiannya, mereka menguraikan komponen dasar dalam sistem, meninjau *state of art* dan mendiskusikan beberapa tantangan dan kemungkinan dalam mengembangkan teknik transmisi nirkabel baru. Seluruh penelitian yang digunakan oleh beliau menggunakan program simulasi [4].

Pada tahun 2012, penelitian yang dilakukan oleh **G. Cossu** dan timnya [5], mencoba untuk mengirimkan data dengan kecepatan tinggi menggunakan LED tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengirimkan data dengan menggunakan RGB LED dengan kecepatan 780 Mbit/s. Penelitian ini cukup berhasil sehingga data dapat diterima dengan baik pada jarak 2,5 m. Penelitian ini lebih memperkuat asumsi bahwa cahaya yang dibangkitkan oleh LED dapat digunakan dalam mengirim data walau pun belum optimal [5].

Penelitian lain dilakukan oleh **Talha A. Khan**, dan timnya [6]. Dimana mereka mengimplementasikan teknologi *Visible Light Communication* (VLC) untuk transmisi data juga. Akan tetapi, data yang dikirimkan memiliki jumlah yang banyak, oleh karena itu digunakan metoda *Wavelength Division Multiplexing* (WDM). Data yang dikirim berupa tiga file audio dengan data rate masing-masing sebesar 115 Kbps. Penelitian tersebut menggunakan interface RS-232, jarak antara TX dan RX cukup pendek, sekitar 50 cm. Dan beberapa penelitian lainnya didapatkan hasil yang mendukung pemanfaatan *Visible Light Communication* (VLC) sebagai teknologi masa depan yang patut diteliti lebih lanjut [6].

Kelemahan dari teknologi nirkabel pada VLC, semakin jauh jarak antar node maka interferensi semakin besar, namun hal ini wajar, juga berlaku untuk teknologi komunikasi nirkabel

lain (RF). Hal ini relatif sederhana untuk menghilangkan sebagian besar gangguan dari sumber-sumber alam dan buatan menggunakan filter optik (yang menghindari saturasi penerima). Setelah foto-detektor, lebih lanjut penyaringan digital dan analog, memastikan gangguan yang tersisa diabaikan. Beberapa teknik yang bisa dilakukan untuk mengatasi kekurangan dari teknologi ini diantaranya *filter, shielding, transmit and receive directivity, error correction encoding, transmitter power, and receiver sensitivity*.

C. Optimized Link State Routing (OLSR)

Protokol *Optimized Link State Routing (OLSR)* sebagai protokol *routing link-state* yang berjenis proaktif. Dimana protokol ini membentuk *table routing* dan dengan konsisten memperbarui *routing* secara kontinu. Untuk mengurangi resiko *flooding* saat *routing*, OLSR menggunakan MPRs atau *Multipoint Relays* yang mampu melakukan kontrol terhadap lalu lintas *messages* [7].

OLSR mempunyai dua fitur utama, yang pertama adalah *Neighbor Discovery*, fitur ini mampu menemukan *node* yang terdekat untuk menuju *node* tujuan atau biasa disebut dengan algoritma *shortest-path*. Konsepnya adalah dalam interval waktu tertentu OLSR menyebarkan “*hello*” *messages (hello interval)*.

Lalu fitur yang kedua adalah *Topology Dissemination*, fitur ini dapat meminimalisir pengiriman informasi topologi yang tidak perlu dengan cara menyebarkan *message* secara berkala ke seluruh *node*, lalu akan dipilih dua *node* tetangga yang merespon dan yang masuk ke dalam kriteria *shortest-path*, dan selanjutnya dua tetangga terpilih itu menjadi MPRs dan setiap *node* memelihara daftar *node* yang terpilih sebagai MPRs [8].

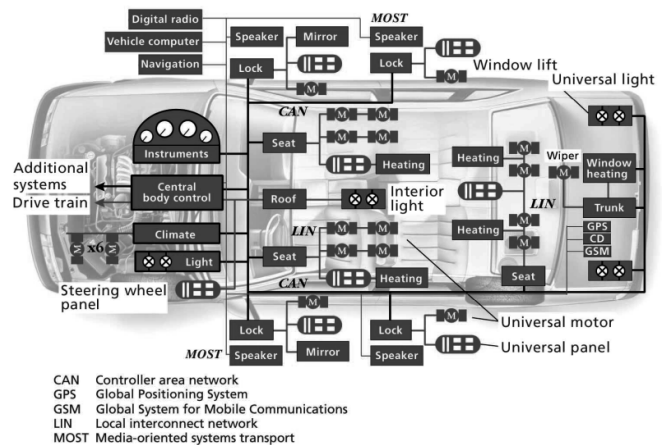
Protokol ini telah dipilih terutama karena menyajikan serangkaian fitur yang membuatnya cocok untuk VANET, hal ini menunjukkan adanya *delay* yang sangat kompetitif dalam transmisi paket data dalam jaringan yang besar (yang merupakan fitur penting untuk aplikasi VANET), mampu menyesuaikan dengan baik dengan menggunakan perubahan topologi secara kontinu, dan OLSR memiliki operasi sederhana yang memungkinkan untuk dengan mudah diintegrasikan ke berbagai jenis sistem. Protokol ini telah dipilih karena menyajikan serangkaian fitur yang membuatnya cocok untuk jaringan ad-hoc yang sangat dinamis, dan konkret untuk VANET [9].

III. METODE

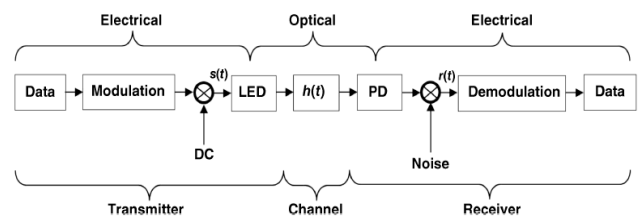
Konsep dasar dari mobil listrik cerdas adalah tentang masalah-masalah seperti: keamanan, kontrol, komunikasi, dan teknologi komputasi (otomatisasi), yang membantu pengambilan keputusan untuk sang pengendara, dan juga mencegah hal-hal yang tidak diinginkan, seperti tabrakan atau kecelakaan. Berdasarkan beberapa pertimbangan, peneliti merancang jaringan ad-hoc yang sederhana namun efektif. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 2, dalam sebuah mobil cerdas (buatan salah satu perusahaan) terpasang begitu banyak sistem dan aplikasi penunjang yang semakin menambah keandalan dan kecerdasan mobil tersebut.

Vehicular Visible Light Communication and Ad-Hoc Network (V2LICAN) yang kami ajukan adalah penyatuan VANET yang menggunakan routing protokol OLSR dan VLC (hybrid). VLC dan OLSR saling menutupi kekurangan masing-masing. Visible LED lebih hemat daya, cerah, dan ramah lingkungan, teknologi penerangan yang sudah ada dipadukan dengan kemampuan komunikasi data. Bila dibandingkan dengan RF, seperti yang telah kita ketahui, RF mempunyai electro-magnetic interference (EMI).

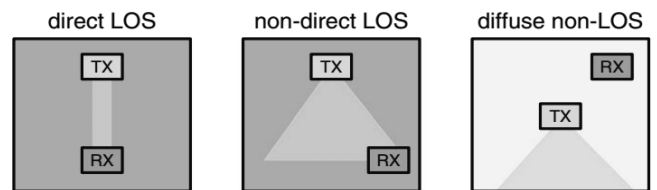
Teknologi VLC adalah bagian dari himpunan komunikasi nirkabel optic (*Optical Wireless Communication*). Penggunaan cahaya spektrum yang dapat dilihat manusia memberikan alternatif atas kepadatan akses terhadap gelombang radio. VLC merupakan alternatif yang mempunyai kecepatan transfer data yang tinggi, yang juga fungsi utamanya sebagai alat penerangan



Gambar 2. Desain sebuah mobil cerdas lengkap dengan *network architecture* [10].



Gambar 3. Model dari sistem komunikasi VLC [12]

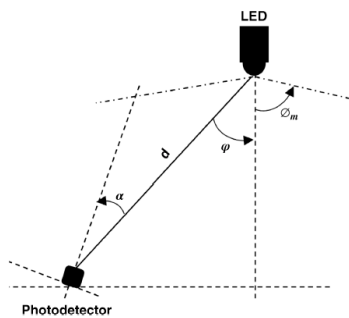


Gambar 4. Jenis komunikasi *Line of Sight* antar Tx dan Rx dalam *Visible Light Communication* [11].

Penggabungan teknologi ini dapat meminimalkan tabrakan antar paket dan sekaligus mengurangi kemacetan atau kongesti pada jaringan VANET. VLC biasanya ditandai dengan transmisi sinyal non-negatif dan *non-coherent*. Prinsip dasar sistem transmisi pada VLC, dimana tiga bagian utama terdiri dari: pemancar, sebuah kanal, dan penerima dapat dilihat pada gambar 3. Gangguan (noise) pada sistem berupa *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Transmisi dalam persamaan 1

$$\mathbf{r}_i = \mathbf{H}\mathbf{s}_i + \omega_i \dots\dots\dots(1)$$

dimana \mathbf{r}_i dan \mathbf{s}_i adalah simbol dari set *received* dan *transmitted*, \mathbf{H} adalah respon kanal dan ω_i adalah gangguan (noise) kanal.



Gambar 5. Distribusi dari single ray Nondirect line-of-sight (ndLOS)

A. LOS VLC link

Dalam link LOS, ada link lurus tanpa hambatan antara LED dan Photo Dioda (gambar 5), dibedakan antara *direct* LOS (dLOS) dimana sudut antara LED dan PD 0° incidence ($\phi = 0$) dan *nondirect* LOS (ndLOS) sudut incidence ($\phi \neq 0$)

$$\mathbf{r}_i = \mathbf{H}_{LOS}\mathbf{s}_i + \omega_i \dots\dots\dots(2)$$

dimana \mathbf{H}_{LOS} adalah respon kanal LOS

Gabungan VLC dan *Wireless Ad Hoc* mampu meminimalkan *packet collision*, karena *Line Of Sight* (LOS) milik VLC dapat menghilangkan resiko *bottleneck wireless* yang biasanya muncul saat pengiriman dan penerimaan paket yang bersamaan dari seluruh perangkat yang ada dalam mobil, termasuk perangkat multimedia. VLC juga dapat diaplikasikan ke rambu-rambu lalu lintas seperti pada gambar 8, untuk masalah keselamatan dan memungkinkan keberlangsungan komunikasi di mana *noise* tinggi mengganggu sinyal.

B. NLOS VLC link

Dalam sistem VLC Non LOS (NLOS), sinar dari LED mencapai Photo Dioda (PD) setelah refleksi *single* atau *multiple*, hal ini disebabkan adanya halangan antara pengirim dan penerima.

$$\mathbf{H}_{NLOS} = \sum_{k=0}^{\infty} h^{(k)} \dots\dots\dots(3)$$

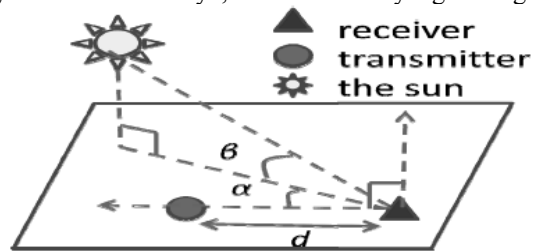
dimana $h^{(k)}$ adalah respon impulse dari sinar cahaya (ray) yang melalui lintasan k .

$$\mathbf{r}_i = \mathbf{H}_{NLOS}\mathbf{s}_i + \omega_i = \rho \mathbf{H}_{LOS}\mathbf{s}_i + \omega_i \dots\dots\dots(4)$$

dimana dalam hal ini transmisi ditandai oleh persamaan transmisi menggunakan matriks perpindahan LOS dikalikan oleh koefisien ρ .

C. Ketahanan terhadap gangguan Visible Light Noise

Pengujian ketahanan terhadap gangguan (noise) pada *Vehicular Visible Light Communication* pada saat siang hari maupun malam hari oleh cahaya tampak yang lain. Hasil Pengujian oleh **Cen Liu**, tabel 1 dan 2 [13]. Pada siang hari terjadi gangguan dari cahaya matahari, sedangkan pada malam hari terdapat gangguan dari cahaya lampu penerangan jalan, cahaya kendaraan lainnya, atau dari VLC yang sedang *idle*.

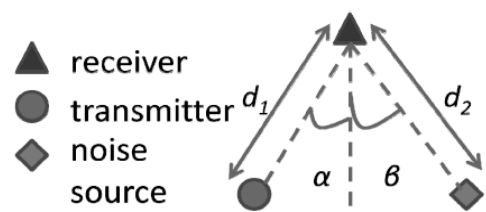


Gambar 6. Noise saat siang hari [13]

Tabel 1. Ketahanan V2LC terhadap noise saat siang hari [13]

Jarak (d)	Sudut α	Sudut β	PDR
5.4 m	0°	15°	100%
5.8 m	30°	45°	100%
7.5 m	10°	30°	100%
16.8 m	10°	10°	100%
[16.8, 101]m*	10°	10°	100%
>101 m*	10°	10°	0%

* d diperoleh dengan mengurangi daya transmisi dari pemancar VLC dan dihitung dengan menggunakan model propagasi ruang bebas [13].



Gambar 7. Ketahanan V2LC terhadap noise saat malam [13]

Tabel 2. Ketahanan V2LC terhadap noise saat malam hari [13]

Jarak (d_2)	Noise source	PDR
0.1 m	LEDs	100%
>0.1 m	LEDs	100%
[0.1, 5] m	Halogen	0%
>5 m	Halogen	100%

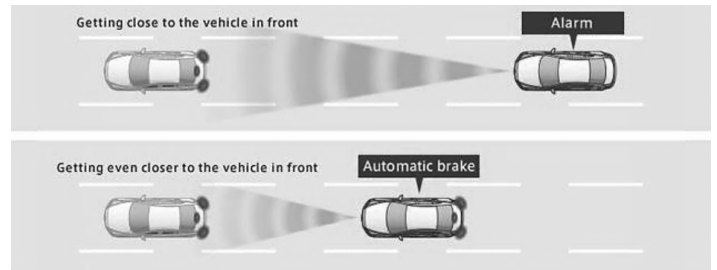
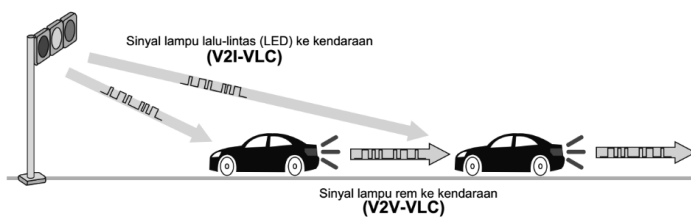
Pada gambar 6, sudut α merupakan sudut azimut dari receiver ke arah matahari, sudut β merupakan sudut elevasi dari receiver ke arah matahari. Selanjutnya jarak antara transmitter ke receiver dinotasikan dengan d . Rasio pengiriman paket PDR (Packet Delivery Ratio), ditunjukkan dalam tabel 1.

Pada gambar 7, d_1 merupakan jarak antara transmitter dengan receiver membentuk sudut α terhadap sumbu vertikal, sedangkan d_2 merupakan jarak antara receiver ke noise source membentuk sudut β terhadap sumbu vertikal.

Noise dapat mempengaruhi kinerja VLC dengan mensaturasi photodiode dari platform biasanya. Hal ini terjadi hanya jika sumber noise berada langsung pada sudut bidang pandang penerima, dan daya noise yang cukup tinggi. Dengan meningkatnya jarak antara sumber noise dan penerima serta menurunnya sudut bidang pandang, link menjadi benar-benar kuat untuk kedua kondisi baik siang maupun malam hari.

Tabel 3. Aplikasi dari teknologi VLC untuk *low data*¹ dan *high data*²

Penerapan VLC	Kelebihan dan kekurangan
Alat komunikasi pada mobil listrik cerdas	Teknologi VLC memungkinkan komunikasi antar kendaraan menggunakan lampu depan sebagai transmitter dan lampu belakang warna merah sebagai penerima, sehingga mencegah kecelakaan
Mobile connectivity	Penerapan pada <i>light fidelity</i> (LiFi), VLC dapat digunakan untuk menghilangkan/meredam frekuensi spektrum radio nirkabel (RF). Bola lampu bisa menjadi <i>base station</i> untuk jutaan pengguna. Kedua, memungkinkan komunikasi antara dua perangkat pintar secara aman di link data kecepatan sangat tinggi.



Gambar 8. penggunaan *Visible Light Communication* (VLC) pada traffic lights dan sistem alarm, pengereman otomatis [14].

Dari keterangan gambar 8 tabrakan dari belakang adalah jenis yang paling umum dari kecelakaan, dan sekitar 60% dari ini terjadi pada kecepatan yang relatif rendah 30 km/jam atau kurang [14]. Sistem peringatan alarm dalam jarak, kecepatan tidak aman untuk waktu pengereman manual, dan sistem pengereman otomatis membantu pengemudi menghindari tabrakan frontal saat mengemudi pada kecepatan lambat di daerah perkotaan atau lalu lintas padat. Ketika mengemudi pada kecepatan rendah (sekitar 4 - 30 km/h) sensor laser yang dipasang di *windshield* mobil di depan. Jika sistem mendeteksi resiko tabrakan, mempersiapkan sistem rem untuk siap memberikan daya maksimal untuk menghentikan laju kendaraan. Jika pengemudi tidak mengambil tindakan menghindari seperti pengereman atau kemudi, sistem secara bersamaan menerapkan rem dan mengurangi *output* mesin, dengan tujuan menghindari tabrakan atau mengurangi dampak yang lebih parah. Menggunakan VLC mampu mendeteksi kendaraan belakang dan hambatan sejauh 200 m ke depan. Ketika risiko tabrakan terdeteksi, sistem memperlambat mobil melalui sistem rem cerdas. Sistem pengereman cerdas bertujuan untuk membantu pengemudi menghindari atau mengurangi keparahan tabrakan, terutama saat berkendara di kecepatan antara 15 km/jam dan 145 km/jam, dengan secara otomatis menerapkan rem jika ada bahaya tabrakan.

IV. KESIMPULAN

Dalam paper ini penulis telah mengusulkan teknologi yang dapat digunakan untuk sistem mobil listrik cerdas. Beberapa teknologi yang berbeda dapat dimanfaatkan demi meningkatkan tingkat pengendalian dan kemampuan mobil untuk menjaga keamanan dan kenyamanan dari sang pengendara, bahkan dalam mobil ini dapat disematkan pula fitur hiburan yang saling terintegrasi antar mobil maupun infrastruktur lain yang mengadaptasi teknologi yang sama. Protokol Routing yang penulis usulkan adalah *Optimized Link State Routing* (OLSR), alasan pemilihan protokol routing ini adalah (berdasarkan beberapa jurnal yang penulis tinjau) protokol inilah yang mempunyai performa yang paling unggul dari berbagai aspek (dibandingkan protokol AODV, DSR, TORA). Penulis juga menggambarkan pandangan akan datangnya kendaraan masa depan yang "mungkin" akan jauh berbeda dengan kendaraan saat ini kita pakai, karena "mungkin" dimasa depan akan digunakan juga sejenis Tx dan

Rx jarak pendek sistemnya merupai radar Doppler, yang juga akan meningkatkan kemampuan kendaraan untuk mengendalikan dan pengambilan keputusan (demi tujuan keamanan).

REFERENSI

- [6] M. C. Aswathy & Tripti C.H.. 2012 An enhancement to AODV protocol for efficient routing in VANET - A cluster based approach. *Advances in Computer Science, Engineering & Applications*, pp.1027-1032.
- [7] Wenshuang Liang, Zhuorong Li, Hongyang Zhang, Shenling Wang, and Rongfang Bie. *Vehicular Ad Hoc Networks: Architectures, Research Issues, Methodologies, Challenges, and Trends*. College of Information Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China.
- [8] H. Moustafa and Y. Zhang. *Vehicular Networks: Techniques, Standards, and Applications*. CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, 2009.
- [9] Dominic C. O'Brien, et al. 2008. Visible Light Communications: challenges and possibilities. *IEEE* : 978-1-4244-2644-7.
- [10] G. Cossu et al. 2012. Long Distance Indoor High Speed Visible Light Communication System Based on RGB LEDs. *ACP Technical Digest 2012 OSA*.
- [11] Talha A. Khan et al. 2012. Visible Light Communication using Wavelength Division Multiplexing for Smart Spaces. *Communications Letters, IEEE*, vol. 15, no. 2, pp. 217– 219.
- [12] V. Paxson, G. Almes, J. Mahdavi, and M. Mathis. s.l. 2007. Framework for IP Performance Metrics: Internet Engineering Task Force. Request for Comments (Informational) RFC 2330.
- [13] Affandes, M. 2011. Analisa Parameter QoS Routing pada Protokol Jaringan Ad-Hoc Bergerak (VANET). Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- [14] Jamal Toutouh, Jos'e Garc'ia-Nieto, and Enrique Alba. Intelligent OLSR Routing Protocol Optimization for VANETs. *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, IN PRESS. 2012
- [15] Leen, G, & Heffernan, D. 2002. Expanding Automotive Electronic Systems.
- [16] Vegni, A. M., Biagi ,M. & Cusani, R. (2013). Smart Vehicles, Technologies and Main Applications in Vehicular Ad hoc Networks, *Vehicular Technologies - Deployment and Applications*. Dr. Lorenzo Galati Giordano (Ed.). InTech. DOI: 10.5772/55492.
- [17] J. Webster (ed.), *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*. Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Inc. DOI: 10.1002/047134608X.W8267.
- [18] Cen Liu¹, Bahareh Sadeghi², Edward W. Knightly¹, ¹Rice University, ²Intel Labs. Enabling Vehicular Visible Light Communication (V2LC) Networks. *VANET'11*, September 23, 2011, Las Vegas, Nevada, USA. Copyright 2010.
- [19] http://www.mazda.com/en/innovation/technology/safety/precrash_safety/sbs/