BAB 2
DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian yang telah dilakukan oleh Li-Chun Wang dan Yun-Huai Cheng pada tahun 2005 yang berjudul "*A Statistical Mobile-to-Mobile Rician Fading Channel Model"* membahas tentang pemodelan kanal *Mobile-to-Mobile Rician Fading* menggunakan metode *Sum-of-Sinusoid.* Metode *Sum-of-Sinusoid* adalah sebuah konsep menggabungkan atau menjumlahkan masing-masing fase dari komponennya. Menjumlahkan lebih dari dua gelombang sinusoid yang dihasilkan dengan menggunakan sinyal *complex*. Hasil yang didapatkan berupa gelombang sinyal *complex* dan fungsi *Gaussian* yang stasioner. Pendekatan yang diusulkan yaitu menggabungkan pergerakan pengirim dan penerima, serta efek LOS yang bersifat relatif menjadi model *scattering* dalam bentuk *Correlated Double Ring*. Penulis menganalisis kinerja dari pemodelan kanal dengan parameter fungsi autokorelasi dan *Probability Density Function* (PDF). Pemodelan kanal ini menggunakan frekuensi *Doppler* maksimum untuk Tx dan Rx sebesar 100 Hz dan 20 Hz. Selanjutnya fungsi autokorelasi diuji dengan dua pengujian yaitu uji korelasi statistik menggunakan jumlah *scatter* yang berbeda-berbeda. Pada pengujian berikutnya, yaitu uji korelasi statistik dan distribusi PDF dalam kondisi *Rician Factor* yang berbeda-beda [12].

Pada uji korelasi statistik dengan jumlah *scatter* yang berbeda-beda menghasilkan jumlah *scatter* N, M = 8 yang menunjukkan akurasi tinggi dibandingkan dengan ketika N, M = ∞. Uji Korelasi yang dilakukan adalah dengan melakukan autokorelasi dari sinyal *complex envelope* Rzz (τ) dan *cross correlation*, dengan masing-masing nilai K = 1. Selanjutnya, uji korelasi statistik dan distribusi PDF dalam kondisi *Rician Factor* yang berbeda-berbeda menunjukkan bahwa saat waktu *delay* yang sama menyatakan besarnya fungsi autokorelasi Rzz(τ) sebanding dengan besarnya *Rician Factor* K. Hubungan autokorelasi Rzz(τ) dengan K terlihat bahwa amplitudo maksimum fungsi autokorelasi Rzz(τ) adalah sebanding dengan $K/(1+K)$. Hasil uji korelasi yang kedua ini menunjukkan keakuratan

untuk berbagai kondisi *Factor Rician*. Oleh karena itu, hasil yang didapatkan dari penelitian adalah bentuk gelombang dengan parameter yang digunakan berupa parameter stastistik sesuai dengan nilai teori, dan akurasi yang baik. Pemodelan yang diusulkan dengan parameter PDF itu sesuai dengan teori ketika jumlah N=M= 8 [12].

Penelitian Li-Chun Wang, Wei-Cheng Liu dan Yun-Huai Cheng yang berjudul "*Statistical Analysis of a Mobile-to-Mobile Rician Fading Channel Model"* pada tahun 2009, membahas mengenai pemodelan kanal *Mobile-to-Mobile* dengan metode *sum of sinusoid*. Penulis menggunakan cara yang sama dengan penelitian tahun 2005. Perbedaannya pada pendekatan yang dilakukan yaitu penelitian Li Chun Wang tahun 2009 mengusulkan model *"correlated double ring with LOS component",* untuk menggabungkan komponen LOS dengan efek *scattering* yang terjadi di sekitar pemancar dan penerima yang dimodelkan oleh *correlated double ring.* Selanjutnya, yaitu komponen teori statistik dari kanal *Rayleigh mobile to mobile* diperluas atau digabung dengan kanal *Rician fading*. Model *correleted double ring* yang digunakan bertujuan untuk mengetahui karakteristik lingkungan pada komunikasi *mobile to mobile.* Sifat teoritis digunakan untuk memvalidasi hasil akurasi pemodelan kanal *mobile to mobile Rician fading* dengan metode *sum of sinusoid* [13].

Hasil penelitian [13] didapatkan bahwa untuk *correlated double ring* lebih baik dalam autokorelasi pada saat nilai koefisien *scattering* K = 1. Hasil tersebut didapatkan karena grafik pemodelan dengan metode *correlated double ring* paling mendekati, lebih baik, dan saling berhimpit bahkan sama dengan grafik garis lurus sebagai referensi yang disebut dengan grafik "ideal" atau nilai teorinya. Dari penelitian tersebut juga didapatkan fungsi autokorelasinya, PDF, LCR dan AFD. Setelah didapatkan beberapa parameter tersebut maka dilakukan juga proses verifikasi akurasi agar sesuai dengan nilai teorinya. Selanjutnya hasil yang diperoleh penelitian ini bahwa untuk *Frequency Doppler* maksimum pada sisi TX sebesar 100 Hz, sedangkan pada sisi Rx adalah sebesar 20 Hz. Dapat disimpulkam, bahwa metode *sum of sinusoid* dengan pendekatan model

correlated double ring with LOS component ini lebih baik dan lebih mendekati nilai teoritisnya dibandingkan dengan pendekatan model *single ring* [13].

Penelitian Abdul Kader S. Akki dan Fred Haber pada tahun 1994 yang berjudul *"Statistical Properties of Mobile-to-Mobile Land Communication Channel"* membahas mengenai pemodelan statistik *Mobile-to-Mobile Land Communication Channel*. Pemodelan statistik pada penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian tahun 1986 oleh Akki dan Haber, dimana pada tahun 1986 hanya menetapkan rumus-rumus untuk parameter yang digunakan seperti *spatial-time correlation function* dan *Power Spectral Density*. Selanjutnya, parameter-parameter tersebut diuji untuk saluran komunikasi nirkabel dalam area lokal sub urban, dan urban, di mana baik pemancar dan penerima saling bergerak. Komponen sinyal sampai pada sisi penerima melalui mekanisme *scattering*, *difraction*, dan *reflection*. Model yang digunakan untuk menggambarkan kondisi tersebut yaitu probabilitas distribusi dari sinyal *envelope* yang diterima, fase, *spatial-time correlation function*, dan *Power Spectral Density*. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Akki dan Haber menghasilkan parameter *power spectrum* dari sebuah sinyal FM secara acak yang bernilai maksimal pada frekuensi tersebut. Ketika nilai *bandwidth* pada grafik hasil percobaan adalah 0, maka nilai daya maksimal adalah sama dengan 1. Namun, ketika nilai *bandwidth* semakin besar maka nilai daya tersebut semakin turun direntang frekuensi yang diketahui dari hasil grafik pengujian [14].

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Sistem Komunikasi *Vehicle to Vehicle*

Sistem komunikasi *Vehicle to Vehicle* (V2V) merupakan sistem komunikasi yang memungkinkan kendaraan berkomunikasi dengan kendaraan lain, kendaraan dengan infrastruktur dan kendaraan lingkungan sekitarnya. Sejak komunikasi nirkabel dari *Intelligent Transportation System* (ITS) berkembang dengan pesat, maka diperlukan berbagai layanan yang dapat menjamin hubungan komunikasi antar kendaraan, kendaraan

dengan infrastruktur dan kendaraan dengan lingkungan sekitar [15]. Pengembangan teknologi nirkabel untuk sistem jaringan komunikasi telah dikembangkan tidak hanya sebatas pada penggunaannya untuk interaksi dan mobilitas manusia dengan berbagai perangkat elektroniknya. Namun perkembangannya telah diarahkan pada mobilitas manusia dan kendaraan yang digunakan sehari-hari. Teknologi ini dikembangkan sebagai solusi untuk memecahkan sejumlah permasalahan pada sistem transportasi. Permasalahan pada sistem transportasi saat ini sudah cukup kompleks, mulai dari kepadatan lalu lintas, kemacetan, hingga meningkatnya jumlah kecelakaan di jalan raya [16]. Komunikasi nirkabel yang menjadi solusi dari permasalahan tersebut telah disediakan dalam teknologi komunikasi *Vehicle Ad-Hoc Network* (VANET), dimana VANET mengggunakan sistem komunikasi V2V dan *Vehicle to Infrastructure* (V2I). VANET merupakan sebuah teknologi jaringan nirkabel yang dikembangkan bertujuan untuk mendukung pengembangan teknologi ITS. Oleh karena itu, VANET merupakan bagian yang tidak bisa dipisahkan dari ITS, dimana ITS adalah teknologi yang telah dikembangkan untuk mendukung sistem transportasi yang ideal bagi masyarakat pengguna jalan raya.

Sistem komunkasi V2V dan V2I menjadi bagian penting dari sistem komunikasi VANET. Hal ini dikarenakan sistem komunikasi V2V dan V2I mampu mendukung berbagai layanan dengan menggunakan media komunikasi berbeda. Selain itu sistem komunikasi ini juga menyediakan sebuah link komunikasi yang terjamin antara kendaraan dengan kendaraan, atau kendaraan dengan infrastruktur. Teknologi ITS dapat dijadikan sebagai sebuah metode lanjutan dari sistem transportasi yang dibangun dengan mengintegrasikan manusia, kendaraan dan lingkungan dalam suatu sistem informasi dan komunikasi yang terpadu. Teknologi ini diharapkan mampu membangun suatu sistem infrastruktur transportasi yang nyaman dengan prioritas utamanya adalah peningkatan keselamatan di jalan (*road-safety*) [16].

Model komunikasi berbasis VANET telah dikembangkan dalam kondisi nyata. Pemodelan VANET dibagi menjadi tiga model yaitu

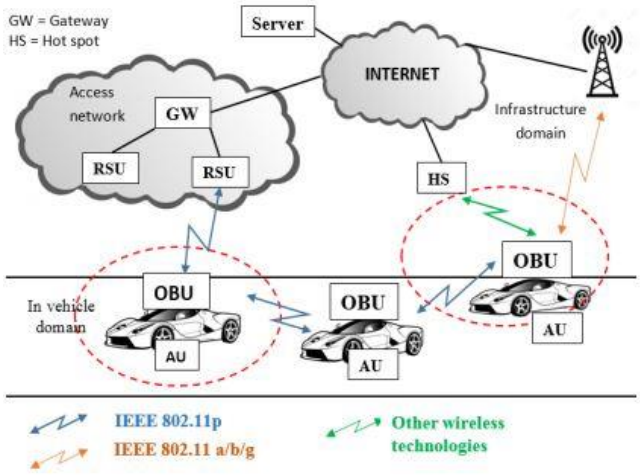
pemodelan mobilitas, pemodelan pertukaran data dan pemodelan sinyal propagasi. Beberapa pemodelan tersebut dibagi menjadi dua proses yaitu *Deterministic Process* dan *Stochastic Process.* Salah satu pemodelan yang telah dikembangkan dalam *Stochastic Process* adalah *Ring Model* [17]. Pemodelan tersebut diterapkan untuk komunikasi *mobile to mobile* dengan asumsi *scatterer* mengitari kedua *ring* tersebut. Koordinat *scatterer* diposisikan secara acak dan dalam keadaan statis (tidak bergerak), sedangkan untuk T_x dan R_x bergerak dengan kecepatan tertentu. Sinyal komunikasi dikirim oleh T_x secara menyebar, dan *scatterer* mengelilingi di sekitar *Ring* T_x dan R_x sebelum diterima oleh R_x. Model tersebut adalah dikenal sebagai *Correlated Double Ring* [9].

2.2.2 Arsitektur VANET / V2V

Komponen penyusun dari teknologi VANET secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu kelompok *mobile* dan kelompok infrastruktur. Kelompok pertama meliputi berbagai jenis kendaraan dan alat komunikasi *mobile*, termasuk piranti navigasi dan telepon genggam. Selanjutnya, kelompok infrastruktur terdiri dari berbagai infrastruktur yang terlibat dalam VANET, seperti titik akses, *gateway* dan lain sebagainya. Adapun Gambar 2.1 di bawah ini menunjukkan contoh arsitektur VANET dengan berbagai komponen penyusunnya.

Berdasarkan Gambar 2.1 setiap kendaraan yang tergabung dalam VANET harus dilengkapi dengan *On-Board Unit* (OBU) dan *Application Unit* (AU). OBU bertindak sebagai terminal sekaligus *router wireless*. Titik akses infrastruktur pada VANET dikenal dengan istilah *Road Side Unit* (RSU). RSU ditempatkan di lokasi-lokasi strategis di sepanjang jalan, misalkan di persimpangan jalan atau pada lampu lalu lintas. Dalam jaringan *vehicular* ini, OBU dapat dianggap sebagai *node* yang bergerak dan RSU adalah *node* yang diam (statis). RSU dapat tergabung ke internet melalui *Internet Gateway* dan OBU dapat terhubung ke internet melalui RSU atau *Hotspot* (HS). Ada empat tipe komunikasi pada VANET, yaitu komunikasi *In-vehicle*, *Vehicle to Vehicle* (V2V), *Vehicle to road infrastructure* (V2I

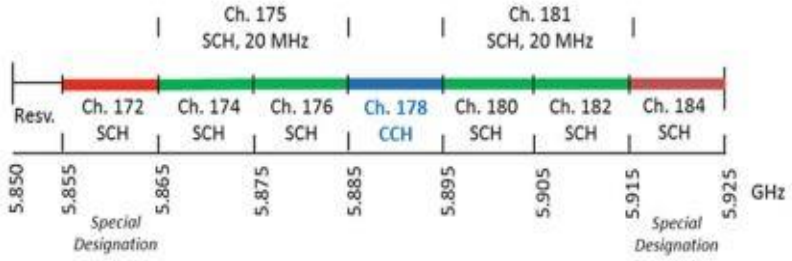
atau V2R), dan *Vehicle to broadband* (V2B). Namun, disini hanya membahas komunikasi V2V [18]. Komunikasi V2V mengatur bagaimana kendaraan-kendaraan dapat saling bertukar informasi yang berhubungan dengan lalu lintas. Pada Gambar 2.1 dapat diketahui bahwa komunikasi V2V dilaksanakan menggunakan standar *wireless* atau *protocol* yang khusus dikembangkan untuk VANET.



Gambar 2.1 Arsitektur Teknologi VANET [18]

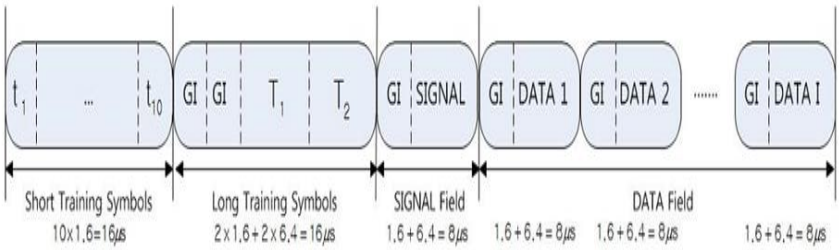
Pada tahun 1999, lembaga *Federal Communications Commission* (FCC) di Amerika Serikat yang bertanggung jawab atas regulasi *spectrum*, mengalokasikan 75 MHz kanal untuk komunikasi ITS pada band frekuensi 5,850 – 5,925 GHz. Pada tahun 2003, FCC mengeluarkan lisensi dan aturan layanan terbaru untuk spektrum. Aturan tersebut termasuk pembagian spektrum menjadi tujuh kanal dengan masing-masing 10 MHz untuk saluran yang tidak tumpang tindih, dan 20 MHz untuk kanal yang tumpang tindih. Pada Gambar 2.2 menunjukkan bahwa terdapat 7 *channel* yang dimulai dari ch.172 hingga ch.184, yang masing-masing memiliki lebar *bandwidth* sebesar 10 MHz. Selanjutnya khusus pada Ch.175 dan Ch.181 memiliki lebar *channel* sebesar 20 MHz yang tumpang tindih dengan Ch.174 dan Ch.176 untuk Ch.175, dan pada Ch.181 yang tumpang tindih dengan Ch.180 dan Ch.182 [17]. Setiap *channel* diklasifikasikan sebagai CCH (*Control Channel*) dan SCH (*Service Channel*). Pada nomor Ch.172 dirancang untuk keamanan sistem komunikasi V2V, dan nomor Ch.184

dirancang untuk daya yang tinggi pada *public safety* / *higher power public safety*. Dan data *encapsulasi* berada di Ch.174 dan Ch.176, serta Ch.180 dan Ch.182. Selanjutnya pada Ch.174, Ch.175.176 dengan Ch.180.182 dan ch 182 tersebut memiliki konfigurasi yang sama. Pada Ch.174 sampai Ch.176 berfungsi untuk *uplink* dan Ch.180 sampai Ch.182 berfungsi untuk *downlink* [17].



Gambar 2.2 Struktur Kanal [17]

Pada Gambar 2.3 selanjutnya menunjukkan bahwa setiap frame IEEE 802.11 dimulai dengan frame *Short Training Symbols* selama 16µs. *Short Training Symbols* bertujuan untuk memfasilitasi penerima dalam mendeteksi sinyal di udara. Selain itu untuk melakukan *control gain* secara otomatis, untuk mencapai sinkronisasi dan evaluasi saluran lainnya. *Short Training Symbols* terdiri hanya 12 *sub-carrier* yang digunakan pada modulasi BPSK. Selanjutnya *Long Training Symbols* menggunakan semua 52 *sub-carrier*. *Long Training Symbols* digunakan sebagai pilot dan *Decentralized Congestion Control* (DCC). Pilot merupakan sebuah kondisi awal dimana beberapa data dikirimkan untuk mengetahui karakteristik dan kondisi kanal [17].



Gambar 2.3 Susunan *Frame* [17]

2.2.3 Standarisasi Sistem Komunikasi VANET / V2V

Pada pengembangan teknologi VANET, induk organisasi IEEE menetapkan sejumlah protokol untuk pengoperasian teknologi VANET yaitu dinamakan *Wireless Access in Vehicular Environment* (WAVE) *standard*. Dengan standar ini dimungkinkan dibangunnya suatu sistem transportasi berbasis informasi dan komunikasi secara terpadu. WAVE adalah standar yang difokuskan pada komunikasi pertukaran pesan untuk kendaraan. Arsitektur dan kerangka kerja WAVE didukung oleh beberapa jenis protokol yang saling terkait satu dan lainnya, meliputi: IEEE 802.11p, IEEE 1609.1, EEE 1609.2, IEEE 1609.3, dan IEEE 1609 [16]. Standarisasi protokol sistem komunikasi V2V yang digunakan dalam teknologi komunikasi (VANET) adalah dari ITU-T 802.11p yang merupakan pengembangan teknologi dari 802.11a. Protokol 802.11p adalah sebuah standar untuk pengoperasian lapisan fisik (PHY) dan sebahagian lapisan data link (MAC). Perbedaan antara 802.11a dan 802.11p yaitu bahwa 802.11p mengakomodasi mobilitas pengguna sehingga dapat bergerak dengan kecepatan yang lebih tinggi dengan jaminan kehandalan sistem [15].

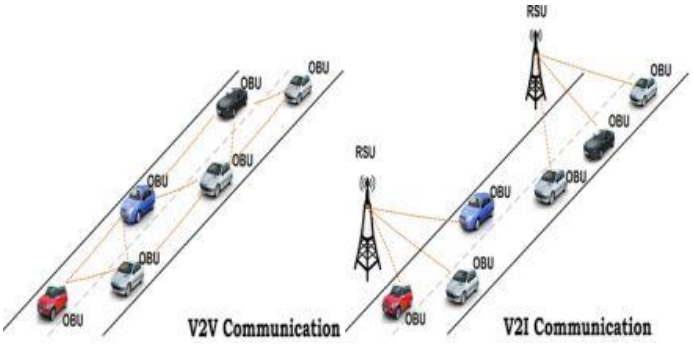
Dalam *physical layer*, teknologi VANET menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) sebagai bagian dari pemrosesan sinyal seperti yang telah digunakan dalam 802.11a. Dalam sistem pemodelan jaringan kendaraan ini, kecepatan kendaraan dapat bervariasi dari kecepatan rendah hingga kecepatan sangat tinggi. Kecepatan bervariasi menghasilkan efek *Doppler* yang dapat menggganggu komunikasi antar kendaraan [19].

Parameter OFDM, durasi sinyal, *guard time*, serta periode FFT dibuat dua kali lipat besarnya dari teknologi standar 802.11a, karena sebagai konsekuensi adanya efek *Doppler* dalam teknologi VANET. Karakteristik dari parameter ini dibuat untuk mengakomodasi mobilitas *user* dalam teknologi VANET yang memiliki kecepatan tinggi. Perbedaaan utama karakteristik parameter teknologi 802.11a dengan teknologi 802.11p dinyatakan dalam Tabel 2.1 berikut [17]:

Tabel 2.1 Perbandingan IEEE 802.11p dan IEEE 802.11a [17]

Parameter	IEEE 802.11p	IEEE 802.11a
Frequency Band	5,85-5,95 GHz	5,15 GHz dan 2,4 GHz
Data Rate	Max 27 Mbps	Max 54 Mbps
Channel Bandwidth	10 MHz	20 MHz
Jumlah Saluran (*Number of Channel*)	7	12
OFDM *Signal Duration*	8 μs	4 μs
Guard Time	1,6 μs	0,8 μs
FFT *Period*	6,4 μs	3,2 μs
Preamble Duration	32 μs	16 μs

Standar WAVE dibangun di atas dua unit dasar, yang disebut RSU (*Road Side Unit)* dan OBU (*On-Board Unit)*. RSU adalah unit infrastruktur yang merupakan jalur akses (*Access Points*) untuk menghubungkan pertukaran komunikasi pada kendaraan sehingga dapat mengakses jaringan. Sedangkan OBU adalah perangkat jaringan yang berada pada kendaraan. Sebuah OBU dapat berkomunikasi dan mengubah pesan ke OBU lain [13]. Pertukaran informasi antar OBU disebut sistem komunikasi V2V. Sementara pertukaran informasi antara OBU dengan RSU disebut dengan sistem komunikasi V2I. Ilustrasi kedua sistem komunikasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.4.



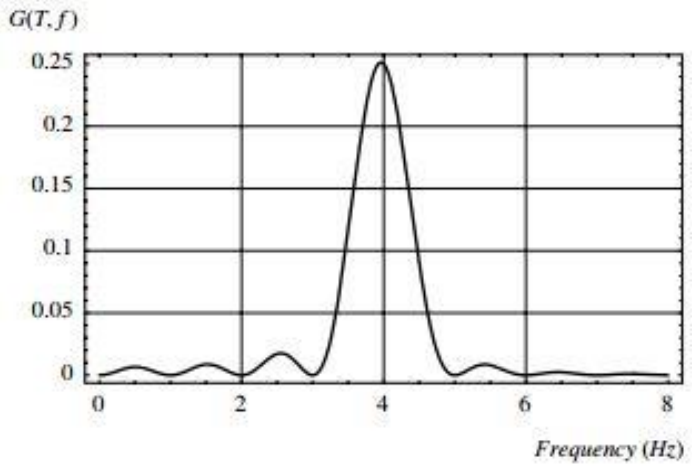
Gambar 2.4 Komunikasi V2I/V2R dan V2V [16]

Tabel 2.2 Perbandingan WAVE dan Teknologi Nirkabel Lain [16]

	WAVE (VANET)	Radio FM	Seluler	Wimax	Satelit
Range Maksimal	<1 km	100 km	<10 km	<10 km	1000 km
Data	6-7 Mbps	<10 kbps	<100 kbps, seluler 3G dari 2-3 Mbps	70 Mbps	100-200 Mbps
Jangkauan Area	Daerah Los - 2 Jalur	Daerah awal - 1 Jalur	Daerah awal - 2 Jalur	Daerah awal - 2 Jalur	Daerah awal - 2 Jalur
Biaya (per bit)	*Free*	*Free*	$$	$	$$

2.2.4 *Power Spectral Density*

Power Spectral Density (PSD) merupakan suatu fungsi untuk melihat sifat suatu frekuensi dari sebuah sinyal dalam deret waktu (*time series*). Pada Gambar 2.5 menunjukkan nilai *Power Spectral Density* dengan frekuensi sebesar 4 Hz bernilai maksimum saat sebuah sinyal dalam deret waktu 0,25 detik [20].



Gambar 2.5 *Power Spectral Density* [20]

Pada referensi [1] menjelaskan bahwa *Power Spectral Density* adalah *transformasi Fourier* dari fungsi autokorelasi sebuah sinyal *X*(t). Maka, persamaan untuk daya dari *random process* sinyal *X*(t) sebagai berikut [1]:

$$\begin{aligned} P &= E\,[X^2(t)] \\ &= R_{XX}(0) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} S_{XX}(f)\,df \end{aligned} \qquad (2.1)$$

Keterangan:

P = Daya dari *random process* sinyal *X*(t).
E = Nilai Expected Value
$X^2(t)$ = Sinyal.
R_{XX} = Fungsi autokorelasi dari sinyal *X* domain waktu t.
$S_{XX}(f)$ = Fungsi autokorelasi dari sinyal *X* domain frekuensi *f*.

Persamaan 2.1 menunjukkan bahwa daya dari nilai *random process* sebuah sinyal *X*(t) dihasilkan dari proses nilai E yang dioperasikan dengan fungsi sinyal $X^2(t)$. Proses tersebut sama dengan fungsi autokorelasi dari R_{XX} pada saat (t) ke nol (0), artinya nilai kan maksimum ketika waktu pada saat (t) ke (0). Selanjutnya sinyal *X*(t) ditransformasikan dari domain waktu ke domain frekuensi, yang menjadi autokorelasi *function* $S_{XX}(f)\,df$ dan disebut dengan *Parseval's theorem.* Berdasarkan persamaan 2.1 maka diperoleh persamaan 2.2 yaitu *Power Spectral Density* yang didefinisikan sebagai *transformasi Fourier* dari fungsi autokorelasi sebuah sinyal *X*(t) adalah sebagai berikut [1]:

$$S_{XX}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{XX}(\tau)\, e^{-j2\pi f t}\, d\tau \qquad (2.2)$$

Keterangan:

$S_{XX}(f)$ = Fungsi autokorelasi dari sinyal *X* domain frekuensi *f*
τ = Waktu (s)
f = Frekuensi (GHz)

Jika sinyal *X*(t) bernilai real, maka $R_{XX}(\tau)$ dan $S_{XX}(f)$ juga bernilai real. Jika sinyal *X*(t) bernilai kompleks maka $R_{XX}(\tau) = R^*_{XX}(-\tau)$ dan $S^*_{XX}(f) = S_{XX}(f)$.

Pada sinyal yang sifatnya deterministik dari sebuah sinyal dengan waktu kontinyu dapat diketahui beberapa parameter seperti daya rata-rata,

nilai rata-rata (*mean value*), autokorelasi, *crosscorelation*, dan lain-lain. Sinyal deterministik digambarkan sebagai fungsi $\mu(t)$, dimana t bernilai real maupun kompleks. Berikut beberapa fungsi dari parameter yang dapat diketahui ketika beroperasi dengan sinyal waktu kontinyu yang bersifat deterministic yaitu sbeagai berikut [1]:

$$E\,[\mu(t)] = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{T} |\mu(t)|^2 \, dt \tag{2.3}$$

Keterangan:

E = *Expected Value* dari $\mu(t)$.
$\mu(t)$ = Sinyal yang bersifat deterministik.
T = Nilai batas yang sudah pasti nilainya.
t = Waktu kontinyu (s).

Persamaan 2.3 menunjukkan fungsi parameter *Expected Value* atau nilai rata-rata dari sinyal deterministik $\mu(t)$. Selanjutnya, fungsi dari parameter *crosscorelation* dari sinyal deterministik $\mu_1(t)$ dan sinyal $\mu_2(t)$ ditunjukkan pada persamaan 2.4 sebagai berikut [1]:

$$R_{\mu_1\mu_2}(\tau) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{T} \mu_1(t)\, \mu_2(t+\tau) dt \tag{2.4}$$

Keterangan:

$R_{\mu_1\mu_2}(\tau)$ = *Crosscorelation Function*
$\mu_1(t)$ = Sinyal Deterministik 1
$\mu_2(t)$ = Sinyal Deterministik 2

Selanjutnya, pada persamaan 2.5 merupakan fungsi persamaan *Power Spectral Density* yang didefinisikan sebagai *transfromasi Fourier* dari fungsi autokorelasi sebuah sinyal deterministik $R_{\mu\mu}(\tau)$ adalah sebagai berikut [1]:

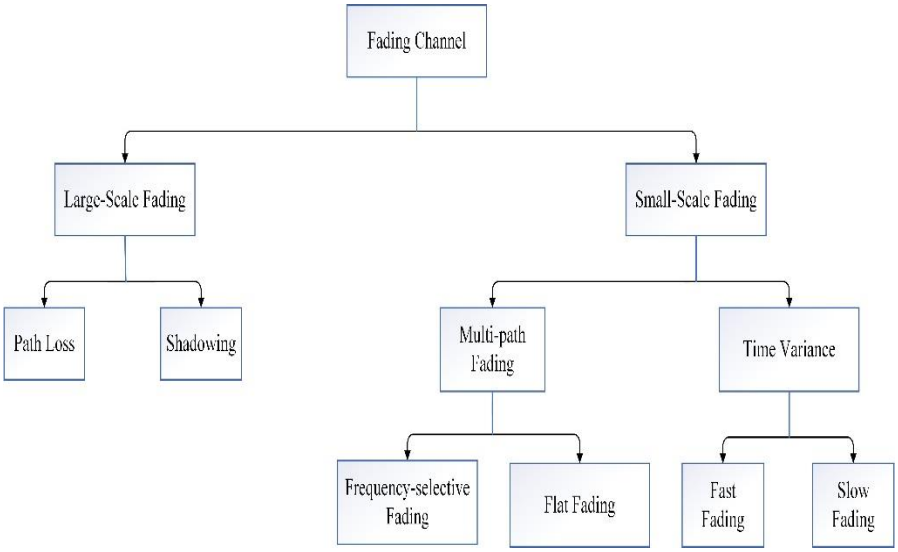
$$S_{\mu\mu}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{\mu\mu}(\tau)\, e^{-j2\pi ft}\, d\tau \tag{2.5}$$

Keterangan:

$S_{\mu\mu}(f)$ = Fungsi *Power Spectral Density* sebuah sinyal deterministik
μ = Sinyal Deterministik

2.2.5 *Fading*

Secara umum, *fading* merupakan fenomena fluktuasi daya sinyal terima akibat adanya proses propagasi dari gelombang radio. Propagasi gelombang radio yang terjadi meliputi *refraksi*, *refleksi*, *difraksi*, hamburan, redaman, dan *ducting* dari gelombang radio. *Fading* disebut sebagai variasi daya sinyal yang diterima dari waktu ke waktu atau setiap saat sebagai fungsi dari fasa, polarisasi dan atau level sinyal yang diterima. *Fading* terjadi karena interferensi atau superposisi gelombang *multipath* yang memiliki amplitudo dan fasa yang berbeda-beda. Pengaruh *fading* terhadap sinyal terima dapat memperkuat ataupun memperlemah, tergantung besar fasa dari resultan sinyal langsung dan sinyal tidak langsung atau dari sinyal resultan masing-masing *path*. Selanjutnya, *fading* sering dimodelkan sebagai *random proses* atau proses acak. Saluran atau kanal *fading* adalah saluran atau kanal komunikasi yang mengalami *fading* [1].



Gambar 2.6 Klasifikasi Fading [1]

Pada Gambar 2.6 menunjukkan bahwa dalam sistem komunikasi bergerak, *fading* diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu *Large-Scale Fading* dan *Small-Scale Fading* berikut penjelasannya [1]:

1. ***Large-Scale Fading***

   Large-Scale Fading terjadi ketika pemancar TX atau penerima RX bergerak dengan jarak yang lebih besar dari panjang gelombang sinyal,

dan terdistribusi Log normal. *Large-Scale Fading* disebabkan akibat keberadaan obyek-obyek pemantul serta penghalang pada kanal propagasi serta pengaruh kontur bumi, menghasilkan perubahan sinyal seperti energi, fasa, serta *delay* waktu yang bersifat random. Statistik dari *Large-Scale Fading* memberikan perhitungan untuk estimasi representasi rata-rata sinyal terima dalam suatu daerah yang luas, dan pergerakan sinyal melalui area yang besar. *Large-Scale Fading* berperan penting dalam menentukan *coverage area, outage*, dan *handoff. Large-Scale Fading* mempresentasikan redaman / *pathloss* dan *shadowing* berikut penjelasannya [1]:

a. *Pathloss*

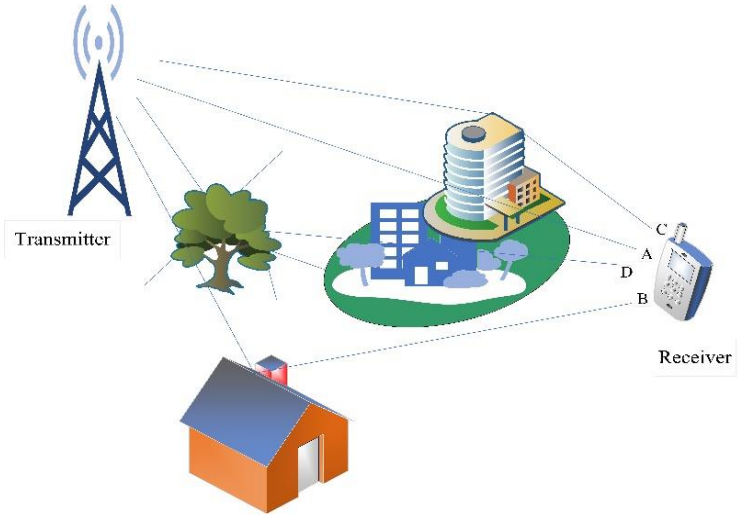
Pathloss merupakan sinyal atenuasi yang berguna untuk mengurangi level daya sinyal yang diterima pada *receiver* karena di pengaruhi oleh jarak antara *transmitter* dan *receiver*. *Pathloss* didapatkan dari perhitungan rata-rata daya yang diterima pada jarak tertentu di area yang cukup besar. *Pathloss* dapat digunakan untuk mengukur suatu *loss* yang disebabkan oleh cuaca, kontur tanah, dan lainnya.

b. *Shadowing*

Shadowing merupakan variasi dalam daya yang diterima di sekitar level yang diprediksi oleh *pathloss*. *Shadowing* disebut juga perubahan sinyal dalam jangka waktu lama. *Shadowing* dihitung dari rata-rata daya yang diterima pada jarak tertentu di atas area yang radiusnya mirip dengan jarak koherensi dari *shadowing*. *Shadowing* dalam komunikasi tradisional dimodelkan sebagai *random process* dan merupakan salah satu faktor kinerja yang paling merugikan dalam sistem komunikasi modern saat ini seperti komunikasi nirkabel. Hal tersebut menyebabkan tidak dapat diserap oleh kode saluran yang sesuai, sehingga dapat mengakibatkan *link outage*.

2. *Small-Scale Fading*

Small-scale Fading terjadi oleh adanya propagasi *multipath*. Pada Gambar 2.7 propagasi *multipath* yaitu terjadi disebabkan oleh pantulan *multipath* suatu gelombang transmisi dimana sinyal dapat berubah bentuk dan lintasan oleh adanya *Free Space* (A), *Reflection* (B), *Difraction* (C), *Scattering* (D) yang terletak diantara lokasi pemancar dan penerima [1].



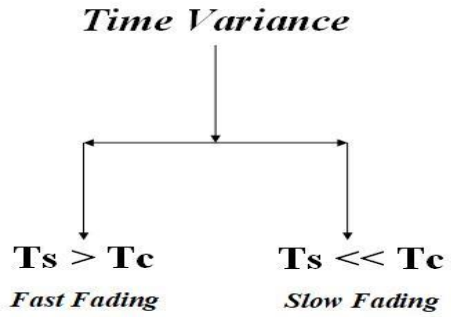
Gambar 2.7 Propagasi multipath [1]

Small-scale Fading memliki peran penting dalam menentukan kinerja link level seperti *Bit Error Rates (BER), Average Fade Duration* (AFD), dan lainnya. Secara umum *Small-scale Fading* terdistribusi *Rayleigh* dan terdistribusi *Rician* jika terdapat komponen *Line of Sight* (LOS). *Small-scale Fading* terdapat dua macam mekanisme yaitu *Time Variance of the Channel* disebabkan oleh pergerakan. Selanjutnya *Time Spreading of the Signal* sebagai akibat dari *multipath* disebut juga *Multipath Fading*.

a. *Time Variance of the Channel*

Time Variance merupakan pergeseran frekuensi dari satu sisi domain pada sinyal yang diterima secara berkala disebabkan oleh perpindahan tempat dari *user* yang bergerak. Variasi kanal pada kanal *fading* ini dinyatakan oleh *Doppler shift* (f_d). Waktu pada kanal

dianggap tidak berubah (*time invariant*) disebut dengan waktu koheren (*Tc)*. *Time Variance* terbagi menjadi dua yaitu *Fast Fading Channel* dan *Slow Fading Channel*.



Gambar 2.8 Klasifikasi *Time Variance* [1]

Pada Gambar 2.8 menunjukkan bahwa kondisi *Fast Fading* terjadi ketika durasi waktu sinyal yang dikirimkan (*Ts*) lebih besar dari durasi *coherence time* (*Tc*), dan ketika *Doppler spread* tinggi, serta ketika *Doppler spread* lebih cepat dari pada variasi sinyal *baseband.* Selanjutnya, kondisi *Slow Fading* terjadi ketika *Ts* lebih kecil dari *Tc*, dan ketika *Doppler spread* rendah, serta *Doppler spread* lebih lambat dari pada variasi sinyal *baseband* [1].

$$T_C = \frac{1}{f_d} \tag{2.6}$$

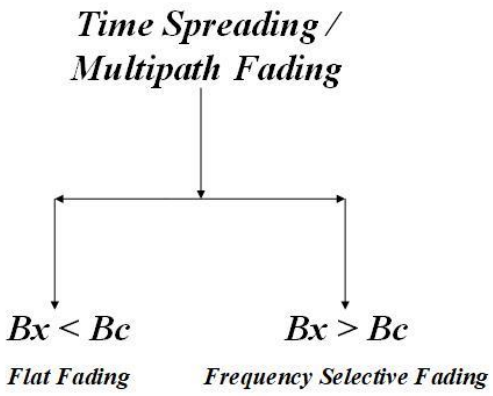
Keterangan:

T_C = *Coherence Time* (s)

f_d = Frekuensi *Doppler* / *Doppler Shift* (Hz)

b. *Time Spreading of the Signal atau MultiPath Fading*

Time Spread menunjukkan pelebaran spektrum frekuensi karena adanya *multipath. Time Spread* dinyatakan oleh *Doppler Spread* dengan parameter utamanya adalah *bandwidth* sinyal dan *bandwidth* koheren. Pelebaran spektrum frekuensi tersebut terjadi karena keterlambatan atau *delay Root Mean Square* (RMS). RMS disebut juga waktu *Doppler* atau *Delay Spread* (T_d). *Time spreading of the Signal* terbagi menjadi dua jenis klasifikasi, yaitu kanal *flat fading* dan *frequency selective fading.*



Gambar 2.9 Klasifikasi *Time Spreading/Multipath Fading* [1]

Pada Gambar 2.9 menunujukkan kondisi *Flat Fading* terjadi apabila *bandwidth* sinyal (B_x) lebih kecil dari *bandwidth* koheren (B_c). Kondisi *Frequency Selective Fading* terjadi apabila B_x lebih besar dari B_c. Pada Kanal komunikasi nirkabel memiliki keterbatasan *bandwidth*. Keterbatasan *bandwidth* menimbulkan adanya perkiraan *bandwidth* maksimum atau interval frekuensi. Proses tersebut terjadi dimana dua frekuensi sinyal yang cenderung mengalami amplitudo yang sebanding atau berkorelasi. Perkiraan *bandwidth* maksimum atau interval frekuensi itu disebut dengan *channel coherence bandwidth* (B_c) [1].

Multipath fading terjadi karena diterimanya banyak gelombang yang merambat melalui jalan berbeda disebut juga *propagasi multipath*. Amplitudo saluran, fase, dan waktu tunda sangat tergantung pada waktu serta lokasi dan dimodelkan secara statistik. Oleh karena itu, sinyal *envelope* yang diterima dalam saluran V2V adalah *Rayleigh Fading* dimana dalam kondisi tanpa LOS dan *Rician Fading* dalam kondisi LOS, tetapi sifat statistik seperti fungsi korelasi, *Doppler spectrum, level crossing rate*, dan sebagainya berbeda dari saluran seluler *Fixed-to-Mobile*. Persamaan *multipath fading* dapat disajikan dengan menggunakan metode respon impuls. Pada sisi penerima, karena adanya beberapa jalur elektromagnetik lebih dari satu pulsa atau sinyal yang diterima dan tiba pada waktu

yang berbeda, maka demikian sinyal yang diterima atau kanal *response impuls* dinyatakan oleh persamaan sebagai berikut [1]:

$$y(t) = h(t) = \sum_{i=0}^{i-1} \alpha_i \cdot e^{j\phi_i} \delta (t - \tau_i) \quad (2.7)$$

Keterangan:

$y(t) = h(t)$ = Koefisisen kanal fading yang bersifat kompleks.
i = Jumlah impuls yang diterima.
τ_i = Waktu tunda / *time delay.*
α_i = Amplitudo.
ϕ_i = Fase.

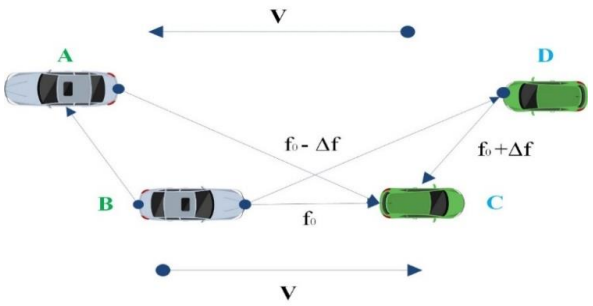
Pada fenomena *multipath* dengan fungsi transfer *channel H(f),* yang didefinisikan sebagai transformasi *Fourier* waktu kontinyu dari *respons impuls h(t)* maka didapatkan persamaan sebagai berikut [1]:

$$H(f) = F(h(t)) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t)\, e^{-j2\pi ft}\, dt \quad (2.8)$$

2.2.6 Efek *Doppler*

a. *Doppler Shift*

Pada saat pemancar dan penerima berkomunikasi serta saling bergerak, maka frekuensi *transmisi* (pengiriman) berubah karena pergerakan keduanya. Jika pemancar dan penerima bergerak saling menjauh maka frekuensi pemancar menjadi lebih kecil. Sebaliknya, jika pemancar dan penerima bergerak saling mendekati, maka perubahan frekuensi menjadi lebih besar. Fenomena ini disebut sebagai Efek *Doppler*. Terjadinya efek *Doppler* digambarkan pada Gambar 2.10 yang menunjukkan bahwa, jika kendaraan B dan kendaraan C bergerak searah ke kiri dengan kecepatan (V) yang sama maka tidak terjadi efek *Doppler* (f_0) atau tidak ada frekuensi *Doppler* [17]. Pada kendaraan A dan penerima C yang bergerak saling berlawanan dan menjauhi dengan V yang berbeda maka menghasilkan *Doppler shift* dengan perpindahan frekuensi $f_0 - \Delta f$. Sedangkan pada Kendaraan C dan kendaraan D yang bergerak saling mendekati maka perpindahan frekuensi menjadi $f_0 + \Delta f$.



Gambar 2.10 *Doppler Shift* [17]

Doppler Shift menandakan pergeseran frekuensi dari satu sisi (domain) karena pergerakan penerima atau efek *Doppler*. *Doppler Shift* meningkatkan *bandwidth* sinyal yang ditransmisikan. maka dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut [15]:

$$\Delta f = f_d = \pm f_c \frac{v}{c} \cos\beta \quad (2.9)$$

Keterangan:

f_d = *Doppler Shift* (GHz)
f_c = *Frekuensi Carrier* (5,8 GHz)
v = Kecepatan Kendaraan (m/s)
c = Kecepatan gelombang elektromagnetik (3×10^8 m/s)
β = Sudut gerakan antara pemancar dan penerima

Persamaan tersebut menjelaskan bahwa untuk nilai Δf bernilai maksimum pada saat nilai $\beta = 0$.

b. *Doppler Spread*

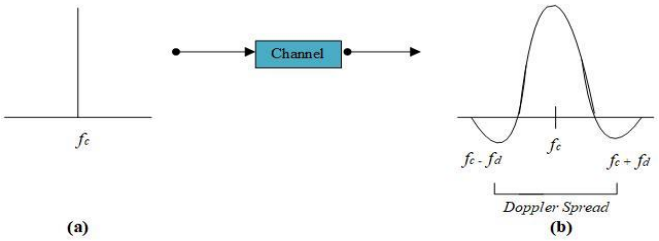
Pada Gambar 2.11 menunjukkan kondisi sebuah sistem komunikasi yang mempunyai sistem kinerja dalam rentang frekuensi f_c tertentu (a). Frekuensi *carrier* f_c kemudian bergerak masuk kedalam kanal dengan menggunakan pemodelan kanal *Correlated Double Ring.* Dari pergerakan tersebut maka terjadi pelebaran spektrum frekuensi (*Doppler spectrum*) karena adanya pengaruh efek *Doppler* dan diperparah dengan adanya *multipath*. Pengaruh efek *Doppler* yang muncul pada pemodelan kanal tersebut menghasilkan seperti pada sisi (b). Jika frekuensi f_c ditambahkan dengan f_d ($f_c + f_d$) maka *spectrum* melebar ke bagian kanan. Sedangkan f_c dikurangi f_d ($f_c - f_d$)

maka hasilnya *spectrum* melebar ke bagian kiri. Fenomena tersebut dinamakan *Doppler spread*. *Doppler spread* disebut juga sebagai pergeseran *Doppler shift* maksimum, karena kondisi *Doppler shift* dapat meningkatkan *bandwidth* sinyal yang ditransmisikan [17]:

$$B_d = 2 f_d \tag{2.10}$$

Keterangan:

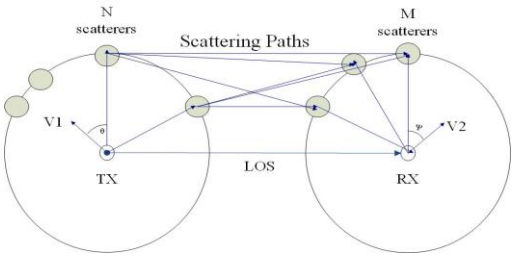
B_d = *Doppler spread* atau Bandwidth Koheren (Hz)
f_d = *Frekuensi Doppler* / *Doppler Shift* (Hz)



Gambar 2.11 *Doppler Spread* [21]

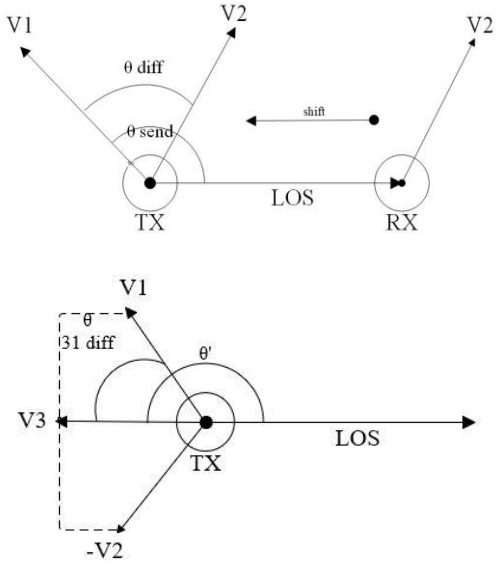
2.2.7 Pemodelan Kanal dengan menggunakan *Correlated Double Ring*

Pada Gambar 2.12 menunjukkan bahwa sistem komunikasi V2V *transmitter* (pemancar) dan *receiver* (penerima) bergerak dengan kecepatan V_1 dan V_2. Konstanta N dan M masing-masing menunjukkan *scatter* di sekitar *transmitter* dan *receiver*. Simbol θ_n menunjukkan sudut keberangkatan antara vektor $\mathbf{V1}$ dengan *scattering path*, dimana n = 1, 2, 3…N. Simbol ψ_m menunjukkan sudut kedatangan antara vektor $\mathbf{V2}$ dan *scattering path*, di mana m = 1, 2, 3…N. Sudut keberangkatan θ_n dan sudut kedatangan ψ_m diasumsikan bersifat *independen* dan menggunakan distribusi yang seragam dengan rentang nilai $(-\pi, \pi)$. Komponen LOS menghasilkan korelasi yang tinggi antara pemancar dan penerima yang disebut *correlated double ring scattering model*.



Gambar 2.12 *Scattering Environment* Sistem Komunikasi V2V [9]

Pada Gambar 2.12 menggambarkan lingkungan *scattering* pemodelan kanal dalam sistem komunikasi V2V dengan komponen LOS yang menggunakan metode *sum-of-sinusoid* [9]. Dimana komponen LOS menghasilkan korelasi yang tinggi antara pemancar dan penerima yang disebut dengan *Correlated Double Ring Channel Model*. Kemudian Gambar 2.12 menunjukkan adanya *Distribusi Rayleigh* dan *Rician*. *Distribusi Rayleigh* terjadi dari sisi pemancar TX yang yang berpropagasi menuju N *Scatter*, kemudian dari N *Scatter* menuju M *Scatter*, dan kemudian dari M *Scatter* menuju sisi penerima Rx. Selanjutnya *Distribusi Rician* terjadi antara kombinasi *Distribusi Rayleigh* yang ditambahkan dengan adanya komponen LOS.



Gambar 2.13 Parameter θ_{send}, θ_{diff}, V_3, θ_{31diff}, dan θ' [9]

Pada Gambar 2.13 menunjukkan definisi dari parameter kecepatan dari pemancar atau V_3 setelah dikurangi kecepatan sebesar 0 dari sisi penerima. Pada Gambar 2.13 mendefinisikan bahwa simbol θ' merupakan sudut antara V_3 dengan komponen LOS. Berikut persamaan dari V_3 yang dapat diturunkan dengan menggunakan geometri dan trigonometri, sebagai berikut [9]:

$$V_3 = \sqrt{V_1.\cos(\theta_{diff}) - V_2)^2 + (V_1.\ \sin\ (\theta_{diff}))^2} \quad (2.11)$$

$$\theta' = \theta_{send} + \theta_{31diff} \quad (2.12)$$

$$\theta_{31diff} = \cos^{-1}\left(\frac{V_1^2 + V_3^2 - V_2^2}{2V_1.V_3}\right) \quad (2.13)$$

Keterangan:

V_1 = Kecepatan di sisi *Transmitter* (m/s)
V_2 = Kecepatan di sisi *Receiver* (m/s)
V_3 = Kecepatan Resultan dari konstanta V1 dan V2 (m/s)
θ' = Sudut antara Vektor V_3 dan komponen LOS (derajat °)
θ_{diff} = Sudut antara Vektor V_1 dan V_2 (derajat°)
θ_{send} = Sudut antara Vektor V_1 dan komponen LOS (derajat °)
θ_{31diff} = Sudut antara Vektor V_3 dan Vektor V_1 (derajat °)

LOS *component* pada komunikasi V2V dapat dinyatakan dengan persamaan berikut [9]:

$$LOS = \sqrt{K}\ \exp\left(j\left(2\pi f_3 t \cos(\theta') + \Phi_0\right)\right) \quad (2.14)$$

Keterangan:

K = Nilai rasio antara daya *specular* dan daya *scattering/ reflection*
t = waktu (s)
f_3 = Frekuensi pada V_3 (Hz)
Φ_0 = Fase awal selama interval (-π, π).

Pada *Rayleigh fading condition* menggunakan metode pendekatan *Sum-of-Sinusoid* untuk sistem komunikasi V2V kanal *Rayleigh Fading*. Saluran yang disimulasikan diasumsikan dalam kondisi *Flat-Fading Channel*, maka sinyal *complex envelope* yang diterima pada kondisi *Rayleigh* memiliki persamaan sebagai berikut [9]:

$$Y(t) = \sqrt{\frac{1}{N\,M}}\left\{\sum_{n,\,m}^{N,\,M} \exp\left(j\left(2\pi f_1\, t\, \cos(\alpha_n) + 2\pi f_2\, t \cos(\beta_m) + \Phi_{nm}\right)\right)\right\} \quad (2.15)$$

$$\alpha_n = \frac{2n\pi - \pi + \theta_n}{4N} \quad (2.16)$$

$$\beta_m = \frac{2\,(2m\pi - \pi + \psi_m)}{4M} \quad (2.17)$$

Keterangan:

$Y(t)$ = Fungsi sinyal *complex envelope* Rayleigh di sisi penerima.

$f_1 = \frac{V_1}{\lambda}$, *Doppler* frekuensi dari pergerakan Tx. (Hz)

$f_2 = \frac{V_2}{\lambda}$, Doppler frekuensi dari pergerakan Rx. (Hz)

N = Jumlah *Scatters* di sekitar T_X

M = Jumlah *Scatters* di sekitar Rx

Φ_{nm} = *Phase* di sekitar T_X dan Rx selama interval (-π, π).

α_n = Parameter Nilai *alpha* di sisi Tx. (°)

β_m = Parameter Nilai *Beta* di sisi Rx. (°)

θ_n = Sudut keberangkatan antara V_1 dan *Scattering Path* (°)

ψ_m = Sudut kedatangan antara V_2 dan *Scattering Path.* (°)

Sudut θ_n dan ψ_m merupakan variabel random, dengan semua distribusi seragam dari rentang nilai (-π, π). Fungsi autokorelasi dari sinyal *complex envelope* kemudian dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut [9]:

$$R_{YY}(\tau) = \frac{J_0(2\pi f_1 \tau) \cdot J_0(2\pi f_2 \tau)}{2} \quad (2.18)$$

Keterangan:

$R_{YY}(\tau)$ = Fungsi autokorelasi dari sinyal *complex envelope*

J_0 = Fungsi *Bessel* awal dalam bentuk bilangan kompleks dalam orde 0

τ = Inisial *Delay*

Pada pembahasan sebelumnya *Rayleigh fading condition* merupakan pemodelan kanal tanpa komponen LOS. Selanjutnya untuk pemodelan pada *Rician fading channel* ini menyatakan pemodelan dimana kondisi sinyal yang diterima mempertimbangkan objek yang dipantulkan Y(t) dan komponen LOS. Maka didapatkan persamaan untuk nilai sinyal *complex envelope* di sisi penerima dalam sistem komunikasi V2V kanal *Rician Fading* $Z(t)$ sebagai berikut [9]:

$$Z(t) = \frac{Y(t) + \sqrt{K}\exp(j(2\pi f_3 t \cos(\theta') + \Phi_0}{\sqrt{1+K}} \quad (2.19)$$

Keterangan:

$Z(t)$ = Fungsi sinyal *complex envelope Rician Fading* di sisi penerima

K = Nilai rasio antara daya *specular* dan daya *scattering/reflection*

f_3 = *Doppler* Frekuensi pada V_3 (Hz)

θ' = Sudut antara V_3 dan LOS (^{o})

ϕ_0 = Fase awal (^{o})

Komponen $Z(t)$ diperoleh dari komponen fasa $Zc(t)$ dan komponen *quadrature* $Zs(t)$, berikut persamaannya [9]:

$$Z(t) = Zc(t) + j\,Zs(t) \tag{2.20}$$

Nilai Zc (t) diperoleh dari:

$$Zc(t) = \frac{Yc(t) + \sqrt{K}\cos(2\pi f_3 t \cos(\theta') + \phi_0}{\sqrt{1+K}} \tag{2.21}$$

Dan nilai *Zs (t)* dari:

$$Zs(t) = \frac{Ys(t) + \sqrt{K}\sin(2\pi f_3 t \cos(\theta') + \phi_0}{\sqrt{1+K}} \tag{2.22}$$

Komponen Z (t), Zc (t), dan Zs (t) dapat digunakan untuk menentukan parameter autokorelasi dan model statistik *cross correlation.* Maka persamaannya sebagai berikut [9]:

$$Q(t) = K\exp(j\,2\pi\, f_3 t \cos(\theta')) \tag{2.23}$$

$$Qc(t) = K\cos(2\pi\, f_3 t \cos(\theta')) \tag{2.24}$$

$$Qs(t) = K\sin(2\pi\, f_3 t \cos(\theta')) \tag{2.25}$$

Komponen *Qc (t)* dan *Qs (t)* merupakan komponen *quadrature* dari *Q (t)*. Selanjutnya, persamaan fungsi autokorelasi dan *cross correlation* dari komponen *quadrature Zc (t)*, *Zs (t)* dan sinyal *complex envelope fading Z(t)* dapat ditunjukkan sebagai berikut [9]:

$$R_{ZcZc}(\tau) = E[Zc(t)\,Zc(t+\tau)] = \frac{J_0(2\pi f_1 \tau)\,.\,J_0(2\pi f_2 \tau) + Qc(\tau)}{2+2K} \tag{2.26}$$

$$R_{ZcZs}(\tau) = E[Zc(t)\,Zs(t+\tau)] = \frac{K\sin(2\pi f_3 \tau\cos(\theta'))}{2+2K} \tag{2.27}$$

$$R_{ZsZc}(\tau) = E[Zs(t)\,Zc(t+\tau)] = \frac{-K\sin(2\pi f_3 \tau\cos(\theta'))}{2+2K} \tag{2.28}$$

$$R_{ZZ}(\tau) = \mathrm{E}[Z(t)\, Z^*(t+\tau)]$$
$$= \frac{J_0(2\pi f_1 \tau).\, J_0(2\pi f_2 \tau) + Q(\tau)}{1+K} \qquad (2.29)$$

2.2.8 Distribusi *Rayleigh* dan *Rician*

Distribusi *Rayleigh* merupakan distribusi jika kondisi kanal tidak ada *Line of Sight* (LOS) pada semua komponen sinyal yang distribusikan. Selanjutnya jika kondisi kanal minimal ada satu komponen sinyal yang didistribusikan mengalami *Line of Sight* (LOS) itu disebut dengan distribusi *Rician*. Untuk lebih jelasnya, berikut penjelasan *rinci* dari kedua distribusi tersebut:

a. Distribusi *Rayleigh*

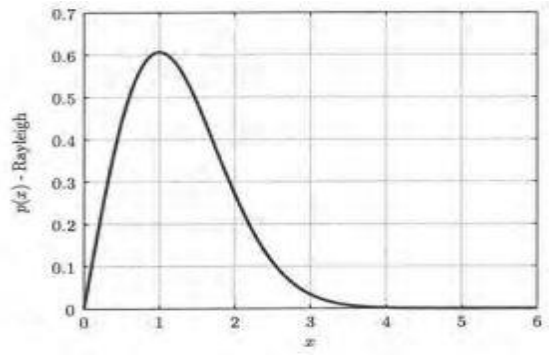
Pada teori probabilitas dan statistik, distribusi *Rayleigh* adalah distribusi probabilitas kontinyu untuk variabel acak bernilai negatif. Distribusi *Rayleigh* merupakan distribusi jika kondisi kanal tidak ada *Line of Sight* (LOS) pada semua komponen sinyal yang distribusikan. Kondisi propagasi Non-LOS maka dalam *Rayleigh* memiliki sifat statistik yang bervariasi dari sinyal *envelope* yang diterima dari sinyal *flat fading* atau sinyal *envelope* dari komponen individu *multipath fading* [1]. Fungsi kerapatan probabilitas atau PDF (*Probabilitas Density Function*) diperoleh sebagai PDF x dengan $x = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$, dimana $x_1 \sim \aleph(0, \sigma^2)$, $x_2 \sim \aleph(0, \sigma^2)$, dan x_1 dan x_1 *independent*. Maka diperoleh fungsi persamaannya sebagai berikut [22]:

$$\mathrm{p}(x) = \begin{cases} \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} x^2\right) & ; \; x \geq 0, \\ 0 & ; \; x < 0 \end{cases} \qquad (2.30)$$

Keterangan:

x = Variabel random kontinyu dari fungsi sinyal $\mathrm{p}(x)$
σ^2 = *Power* atau daya waktu rata-rata dari sinyal yang diterima atau parameter skala (*scale parameter*)

Karakteristik distribusi *Rayleigh* dicirikan dengan adanya konstanta rata-rata (*mean*) dan *variance*. Ditunjukkan pada Gambar 2.14 di mana dalam teorinya yaitu untuk nilai $\sigma^2 = 1$, sehingga didapatkan nilai p(x) = 0,6.



Gambar 2.14 PDF untuk variabel *random* distribusi *Rayleigh* [22]

Maka persamaan *Mean* dan *variance* yang diperoleh adalah sebagai berikut [22]:

$$\mathrm{E}(x) = \sqrt{\frac{\pi \sigma^2}{2}} \tag{2.31}$$

$$\mathrm{var}(x) = \left(2-\frac{\pi}{2}\right)\sigma^2 \tag{2.32}$$

Selanjutnya, berdasarkan beberapa persamaan tersebut maka *integral* dari persamaan PDF sebagai berikut berikut ini [22]:

$$\int_{x}^{\infty} p(\mathrm{t})\,\mathrm{dt} = \exp\left(-\frac{\mathrm{x}^2}{2\sigma^2}\right) \tag{2.33}$$

Keterangan:

$\mathrm{E}(x)$ = Nilai *Mean* dari *x*.

$\mathrm{var}(x)$ = Nilai *variance* dari *x*.

$p\,(\mathrm{t})$ = Nilai PDF dari sinyal x yang diintegralkan menjadi t.

Model *Rayleigh fading* mengasumsikan bahwa besar dari sinyal yang telah melewati media *transmisi* bervariasi secara acak atau

memudar. *Rayleigh fading* dapat diterapkan ketika tidak ada perambatan dominan di sepanjang garis pandang atau LOS antara pemancar dan penerima. Seberapa cepat saluran memudar hal itu dipengaruhi oleh seberapa cepat penerima dan atau pemancar yang bergerak. Gerakan tersebut menyebabkan pergeseran *Doppler* pada komponen sinyal yang diterima.

b. Distribusi *Rician*

Distribusi *Rician* merupakan distribusi jika kondisi kanal minimal ada satu komponen sinyal yang didistribusikan mengalami *Line of Sight* (LOS). *Rician* dapat dijelaskan oleh dua parameter yaitu: K dan Ω. K adalah nilai perbandingan (rasio) antara daya di jalur langsung atau LOS dan power di jalur lain yang tersebar atau mengalami *fading* [1]. Fungsi PDF (*Probabilitas Density Function*) diperoleh sebagai PDF *x* dengan $x = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$, dimana $x_1 \sim \aleph\,(0, \sigma^2)$, $x_2 \sim \aleph\,(0, \sigma^2)$, dan x_1 dan x_1 independant. Maka fungsi persamaannya sebagai berikut [22]:

$$p(x) = \begin{cases} \frac{x}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(x^2 + \alpha^2)\right] I_0\left(\frac{\alpha x}{\sigma^2}\right) & ; \; x > 0 \\ 0 & ; \; x < 0 \end{cases} \qquad (2.34)$$

Keterangan:

I_0 = fungsi Bessel yang dimodifikasi dari urutan nol dan jenis pertama.
α = Amplitudo puncak dari sinyal yang dominan.

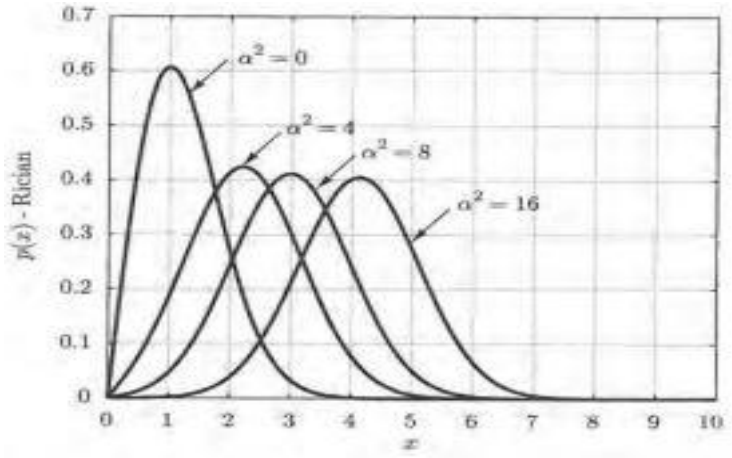
Dimana, $\alpha^2 = \mu_1^2 + \mu_2^2$ dan (2.35)

$$I_0(u) = \frac{1}{2}\int_0^{\pi} \exp(u \cos\theta) d\theta \qquad (2.36)$$

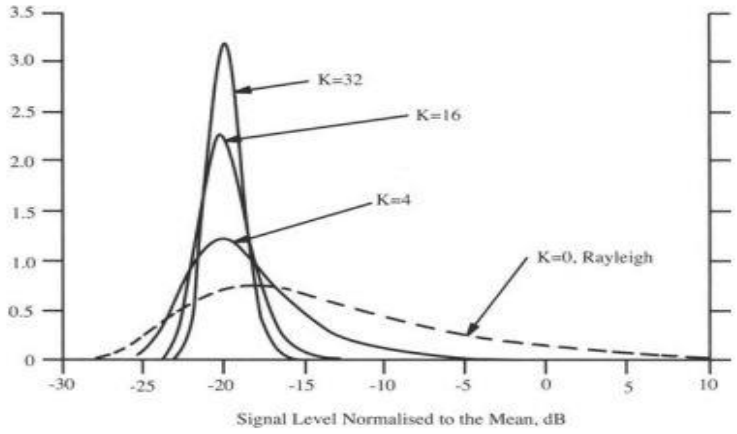
$$= \int_0^{2\pi} \exp(u \cos\theta) \frac{d\theta}{2\pi}$$

Pada Gambar 2.15 menjelaskan bahwa nilai σ^2 = 4 menunjukkan distribusi *Rician* dengan hasil nilai x = 2. Kemudian nilai σ^2 = 8 menunjukkan distribusi Rician dengan nilai x = 3. Dan nilai σ^2 = 16 menunjukkan distribusi Rician dengan hasil nilai x = 4. Selanjutnya yang menunjukkan *Power Spectral Densirty* distribusi *Rayleigh* yaitu pada

saat nilai σ^2 = 0 dengan nilai x = 1. Oleh karena itu karakteristik dari *Power Spectral Density* ini menjadi seperti Gambar 2.15.



Gambar 2.15 PDF untuk variabel random distribusi *Rician* [22]



Gambar 2.16 PDF distribusi *Rician* yang dinormalisasi [22]

Pada Gambar 2.16 menunjukkan *Probability Density Function* distribusi *Rician* yang dinormalisasi. *Rayleigh* adalah kasus khusus dari distribusi *Rician*, daya sinyal deterministik dan varian *multipath*. Ketika K = 0, maka saluran menunjukkan *Rayleigh fading*, ketika K = ∞ saluran

tidak menunjukkan apa pun atau tidak memudar sama sekali, dan ketika $0 < K < \infty$, saluran tersebut menunjukkan *Rician fading* [23].