

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. *Literature Review*

Kegiatan penelitian tugas akhir ini mengacu pada teknologi *Visible Light Communication* (VLC). Untuk memahami teori terkait, diperlukan beberapa tinjauan pustaka yang menunjang dalam perancangan ini. Berikut adalah penelitian terdahulu sebagai kajian pustaka :

Tabel 2.1. Tinjauan Pustaka

No.	Judul Penelitian	Tahun	Keterangan
1	Implementasi <i>Visible Light Communication</i> (VLC) Pada Sistem Komunikasi	2013	Pemanfaatan cahaya tampak sebagai media dalam sistem komunikasi.
2	Implementasi Sistem Komunikasi Video Menggunakan <i>Visible Light Communication</i> (VLC)	2014	Pengimplementasian pengiriman informasi teknologi <i>Visible Light Communication</i> (VLC) dalam sistem komunikasi yang berupa video.
3	<i>Implementation of Speech Simplex Communication using Visible Light</i>	2016	Implementasi sistem komunikasi <i>speech simplex</i> menggunakan <i>Light Emitting Diode (LED)</i> berwarna putih.
4	<i>The evaluation of a predictive forwarding scheme in three-dimensional vehicular communication scenarios</i>	2017	Usulan skema yang disebut <i>Vehicular-to-vehicular Urban Network (V2VUNet)</i> , didasarkan pada pengukuran sudut antara pengirim dan penerima dan mengurangi <i>flooding mechanism time</i> .

No.	Judul Penelitian	Tahun	Keterangan
5	<i>Color Filter Identification for Bidirectional Visible Light Communication</i>	2018	Sistem bidirectional Visible Light Communication (Bi-VLC) yang dapat diimplementasikan dengan menggunakan filter warna tertentu yang dipasangkan pada posisi uplink dan downlink

Berdasarkan penelitian pada tahun 2013 yang dilakukan oleh Arsyad R. Darlis, Lita Lidyawati, Decy Nataliana (Darlis, Lidyawati dan Nataliana 2013) dengan topik Implementasi *Visible Light Communication* (VLC) pada sistem komunikasi. Penelitian tersebut memanfaatkan cahaya tampak sebagai media dalam sistem komunikasi dengan memanfaatkan pancaran cahaya tampak dari lampu dimana jarak pengiriman data adalah 2,5 m dan *range* frekuensi antara 600 Hz – 45 kHz.

Setahun berikutnya pada tahun 2014, penelitian yang dilakukan oleh Arsyad R. Darlis, Lita Lidyawati, Lucia Jambola, Nurul Wulandari (Darlis, Lidyawati, Jambola dan Wulandari, 2014) dengan topik Implementasi Sistem Komunikasi Video Menggunakan *Visible Light Communication* (VLC) menjelaskan teknologi *Visible Light Communication* (VLC) dalam sistem komunikasi yang akan diimplementasikan ini informasi yang akan dikirim berupa video. Hasil dari penelitian mereka menunjukkan *gain* pada sistem *transceiver* memiliki rata-rata sebesar 7,78 dB. Dengan rata-rata faktor *delay* pembacaan frekuensi sebesar 17,49  $\mu$ s.

Adapun penelitian yang dilakukan pada tahun 2016 oleh Lita Lidyawati, Lucia Jambola, Arsyad Ramadhan Darlis (Lidyawati, Jambola dan Darlis, 2016) dengan topik *Implementation of Speech Simplex Communication using Visible Light* menjelaskan *speech simplex communication* menggunakan cahaya tampak dibutuhkan di area dimana komunikasi tidak mudah dilakukan jika menggunakan teknologi yang menggunakan gelombang elektromagnetik. Hasilnya menunjukkan sistem dapat menerima sinyal dalam *speech frequency* antara 300 Hz hingga 3400 Hz. Pengujian dengan mentransmisikan sinyal pada jarak tetap menghasilkan tegangan sinyal meningkat hampir dua kali lipat dari sinyal input, dengan

penguatan 1,66 kali. Hasil percobaan lain menunjukkan bahwa jarak transmisi data mencapai 2,3 m dan sepasang filter warna merah yang dipasang pada pemancar dan filter warna merah pada penerima memiliki tegangan yang diterima relatif baik dibandingkan dengan kebanyakan warna lain.

Dalam penelitian *The Evaluation Of A Predictive Forwarding Scheme In Three-Dimensional Vehicular Communication Scenarios* yang diteliti pada tahun 2017 oleh Lisa Kristiana, Corinna Schmitt, Burkhard Stiller (Kristiana, Schmitt dan Stiller, 2017) membahas tentang usulan skema yang disebut *Vehicular-to-vehicular Urban Network (V2VUNet)*, didasarkan pada pengukuran sudut antara pengirim dan penerima dan mengurangi *flooding mechanism time*. Mereka mengusulkan dan mengevaluasi skema penerusan yang diprediksi yang ditunjukkan oleh parameter *Vertical Relative Angle (VRA)*. Hasilnya menunjukkan durasi *lifetime* dari komunikasi kendaraan yang lebih lama.

Kemudian topik penelitian *Color Filter Identification for Bidirectional Visible Light Communication* yang dilakukan oleh Arsyad R. Darlis, Lita Lidyawati, Lucia Jambola pada tahun 2018 (Darlis, Lidyawati, Jambola, 2018). Dengan adanya penelitian yang mereka lakukan, sebuah sistem *bidirectional Visible Light Communication (Bi-VLC)* dapat diimplementasikan dengan menggunakan *color filter* tertentu yang dipasangkan pada posisi uplink dan downlink. Pengujian mereka menunjukkan bahwa sistem dapat melewati sinyal pada frekuensi audio dengan jarak maksimum dari sistem adalah 2,3 m. Sedangkan pasangan *color filter* yang memiliki kinerja paling baik untuk BI-VLC adalah *Azure (Tx)* dengan *Charteuse Green (Rx)*, *Charteuse Green (Tx)* dengan *Charteuse Green (Rx)*, dan *Rose (Tx)* dengan *Charteuse Green (Rx)*.

## 2.1. Dasar Teori

Berikut ini beberapa teori yang mendukung dengan penelitian yang akan dilakukan.

### 2.1.1. Pengenalan *Visible Light Communication* (VLC)

*Visible Light Communication* (VLC) adalah teknologi komunikasi di mana spektrum cahaya tampak dimodulasi untuk mengirimkan data. Karena pendeknya jarak propagasi *light emitting diode* (LEDs), maka VLC adalah teknologi komunikasi jarak pendek. Dalam spektrum elektromagnetik, spektrum yang terlihat mencakup panjang gelombang antara 350 nm dan 800 nm dan frekuensinya terdiri antara  $4,3 \times 10^{14}$  Hz dan  $7,5 \times 10^{14}$  Hz. VLC menggunakan LED didasarkan pada proses doping, jika dibandingkan dengan lampu pijar atau lampu neon, LED lebih baik karena intensitas arusnya mudah dimodulasi, akibatnya efisiensi dan daya tahan LED lebih baik, dan LED memiliki masa pakai yang lebih lama dibandingkan dengan lampu pijar dan lampu neon. (Cahyadi, Jati, & Kaloko, 2016)

Teknologi VLC merupakan komunikasi optik nirkabel jarak pendek yang digunakan untuk iluminasi dan komunikasi data. Sistem VLC terdiri dari pemancar yang menggunakan LED putih sebagai sumber optik, ruang bebas (udara) sebagai transmisi dan *photodetector* di penerima.

### 2.1.2. Cahaya Tampak

Cahaya tampak adalah sinar yang dapat dilihat oleh mata manusia. Cahaya yang dapat dilihat oleh mata manusia adalah cahaya dengan panjang gelombang 400-800 nm dan memiliki energi sebesar 299–149 kJ/mol. Elektron pada keadaan normal atau berada pada kulit atom dengan energi terendah disebut keadaan dasar (*ground-state*). Energi yang dimiliki sinar tampak mampu membuat elektron tereksitasi dari keadaan dasar menuju kulit atom yang memiliki energi lebih tinggi atau menuju keadaan tereksitasi. Cahaya atau sinar tampak adalah radiasi elektromagnetik yang terdiri dari gelombang. Seperti semua gelombang, kecepatan cahaya, panjang gelombang dan frekuensi dapat didefinisikan pada persamaan 2.1. berikut.

$$C = f \cdot \lambda \quad (2.1)$$

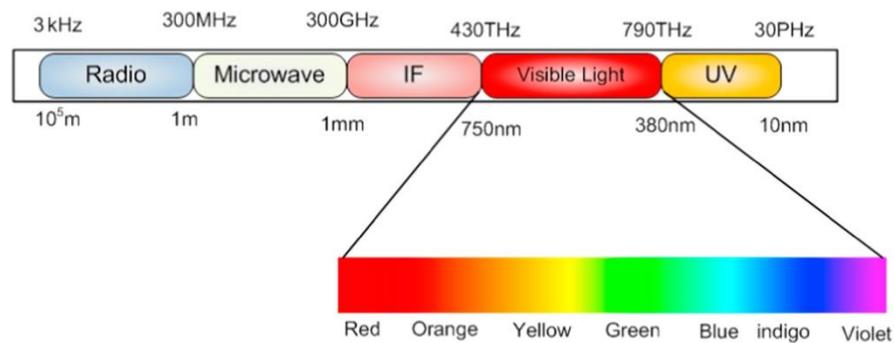
Keterangan:

C = Kecepatan cahaya

f = Frekuensi (Hz)

$\lambda$  = Panjang gelombang (m)

Benda bercahaya seperti matahari atau bohlam listrik memancarkan spectrum lebar yang tersusun dari panjang gelombang. Panjang gelombang yang dikaitkan dengan cahaya tampak itu mampu mempengaruhi selaput pelangi manusia yang mampu menimbulkan kesan subyektif akan ketampakan (*visible*). (Underwood & Day, 1986).



Gambar 2.1. Frekuensi Spektrum Cahaya Tampak  
(Khan, 2017)

Panjang gelombang yang berbeda-beda di interpretasikan oleh otak manusia sebagai warna, dengan merah adalah panjang gelombang terpanjang (frekuensi paling rendah) hingga ke *violet* dengan panjang gelombang terendah (frekuensi paling rendah). Cahaya dengan panjang dibawah 400 nm dan diatas 800 nm tidak dapat dilihat oleh manusia dan disebut *ultraviolet* pada batas panjang gelombang pendek dan infamerah pada batas panjang gelombang terpanjang. (Dewi, Purwanto, & Kuswnato, 2006)

Meskipun spektrum optik adalah spektrum kontinue sehingga tidak ada batas yang jelas antara satu warna dengan warna lainnya, berikut tabel batasan macam warna spektrum.

Tabel 2.2. Panjang gelombang untuk setiap jenis warna.  
(Underwood dan Day Jr,1986).

No.	Jenis Sinar	Panjang Gelombang (nm)
1	<i>Ultraviolet</i>	< 400
2	<i>Violet</i>	400-450
3	Biru	450-500
4	Hijau	500-570
5	Kuning	570-590
6	Oranye	590-620
7	Merah	620-760
8	Infra Merah	> 760

### 2.1.3. *Signal Conditioner* (Penkondisian Sinyal)

Pengkondisian sinyal ini berkaitan dengan operasi-operasi yang dikenakan pada sinyal guna mengkonversi sinyal tersebut ke bentuk yang sesuai dengan yang diperlukan untuk *interface* dengan elemen-elemen lain dalam sistem instrumentasi. Efek pengkondisian sinyal pada sinyal masukan sering dinyatakan dalam bentuk fungsi alih. Pengkondisi sinyal dapat dikelompokkan dalam beberapa jenis, seperti yang akan diuraikan berikut.

#### a. Pengubahan Level Sinyal

Suatu cara untuk pengkondisian sinyal adalah dengan mengubah level sinyal, yaitu dengan melakukan penguatan ataupun peredaman. Salah satu faktor yang penting dalam pemilihan penguat adalah impedansi masukan yang ditawarkan kepada sensor (atau elemen lain yang berfungsi sebagai masukan). Dalam beberapa kasus, (misalnya akselerometer dan detektor optik), tanggapan frekuensi penguat juga merupakan suatu hal yang sangat penting.

#### b. Linierisasi

Tujuan linierisasi adalah untuk mendapatkan keluaran yang berubah secara linier terhadap variabel masukan meskipun keluaran sensornya tidak linier, biasanya bekerja hanya dalam batas yang sempit. Cara linierisasi yang lebih modern adalah seara perangkat lunak, yaitu dengan membolehkan sinyal tak linier sebagai masukan ke komputer dan selanjutnya melakukan linierisasi dengan menggunakan perangkat lunak.

c. Konversi

Konversi diperlukan dalam transmisi sinyal dan interface dengan sistem digital. Penggunaan komputer dalam sistem instrumentasi akan memerlukan suatu konversi dari data analog ke data digital, yaitu yang dilakukan oleh ADC. Konversi ini biasanya memerlukan pengaturan level sinyal

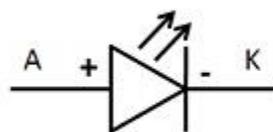
d. Filter dan Penyesuai Impedansi

Filter berguna untuk menyingkirkan sinyal yang tidak diinginkan filter yang biasa digunakan yaitu *low-pass filter* (LPF), *high-pass filter* (HPF), *notch filter*, atau gabungan dari filter-filter tersebut. Penyesuaian impedansi kadang diperlukan, apabila impedansi *internal transduser* atau impedansi saluran dapat menyebabkan terjadinya suatu kesalahan dalam pengukuran suatu variabel.

#### 2.1.4. Light Emitting Diode (LED)

LED atau yang bisa disebut *light emitting diode* adalah suatu komponen dalam elektronika yang mampu memancarkan cahaya monokromatik ketika dialiri tegangan *forward*. LED merupakan keluarga dari dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor. warna-warna yang dihasilkan dari pemberian tegangan *forward* bergantung pada jenis dan bahan semikonduktor yang digunakan. LED mampu memancarkan sinar yang tak kasat mata seperti inframerah yang sering kita jumpai pengaplikasiannya terhadap *remote TV*, *remote control*, dan perangkat elektronika lainnya. (Kho, 2015)

Bentuknya yang kecil dan menyerupai sebuah bola lampu membuatnya mudah dipasangkan dengan berbagai perangkat elektronika. Berbeda dengan lampu pijar, LED tidak memerlukan proses pembakaran filamen sehingga tidak menghasilkan panas dalam penghasilan cahaya.



Gambar 2.3. Simbol LED

(Kho, 2015) "telah diolah kembali"

### 2.1.5. *Photoelectric*

Sensor *photoelectric* atau *photosensor* adalah perangkat yang mendeteksi perubahan intensitas cahaya. Jenis cahaya dan metode yang digunakan untuk mendeteksi target bervariasi tergantung pada sensornya. Sensor fotoelektrik terdiri dari sumber cahaya (LED), penerima (*phototransistor*), pengubah sinyal, dan penguat. Fototransistor berguna untuk menganalisis cahaya yang berasal dari LED, dan secara tepat memicu keluaran. (Frigyes, Myers dan Allison, 2010)

Sensor fotoelektrik memiliki banyak keuntungan jika dibandingkan dengan teknologi lain. Rentang deteksi cahaya *photosensor* begitu jauh dapat melampaui teknologi induktif, kapasitif, magnetik, dan ultrasonik. Ukurannya yang kecil jika dibandingkan dengan rentang deteksi cahaya menjadikannya cocok untuk hampir semua aplikasi. Terdapat 4 jenis sensor fotolistrik yang tersedia :

a. Pemantulan Langsung (*Direct Reflection*)

*Transmitter* dan *receiver* yang ditempatkan bersama-sama dan menggunakan cahaya yang dipantulkan langsung dari objek untuk melakukan deteksi. Pemilihan *photosensor* jenis ini harus mempertimbangkan warna dan tipe permukaan objek (kasar, licin, buram, terang). Dengan permukaan buram, jarak *sensing* akan dipengaruhi oleh warna objek. Warna-warna terang berpengaruh terhadap jarak *sensing* maksimum dan warna gelap berpengaruh terhadap jarak *sensing* minimum. Jika permukaan obyek mengkilap, efek permukaan yang lebih penting daripada warna.

b. Refleksi dengan reflektor (*Reflection with Reflector*)

*Transmitter* dan *receiver* ditempatkan bersama-sama dan membutuhkan reflektor. Obyek terdeteksi karenan memotong cahaya antara sensor dan reflektor sehingga *receiver* tidak menerima cahaya. *Photocells* ini memungkinkan jarak *sensing* lebih jauh. Dengan adanya *reflector* sinar yang dipancarkan akan dipantulkan sepenuhnya ke *receiver*.

c. Pemantulan terpolarisasi dengan reflektor (*Polarized Reflection with Reflector*)

Serupa dengan Pemantulan reflektor, *photocells* ini menggunakan perangkat *anti-refleks*. Reflectornya tidak mengkilap. Sensor ini mendasarkan fungsi pada sebuah pita cahaya terpolarisasi, memberikan keuntungan dan deteksi akurat bahkan ketika permukaan obyek sangat mengkilap. Data teknik tidak ada karena sangat dipengaruhi oleh pemantulan acak (benda apa saja).

d. *Through Beam*

*Transmitter* dan *Receiver* ditempatkan secara terpisah dan deteksi obyek terjadi ketika memotong sinar antara *transmitter* dan *receiver* sehingga *receiver* kehilangan cahaya sesaat. *Photocells* ini memiliki jarak *sensing* terpanjang.

### 2.1.6. *Line of Sight (LOS) Propagation Model*

Secara umum, *Optical Wireless Communication (OWC)* menggunakan LED sebagai sumber pemancar dan *photodetector* sebagai penerima, distribusi sudut pola intensitas radiasi dimodelkan dengan *Lambertian Radiant Intensity* (Ghassemlooy, Popoola dan Rajbhandari, 2013) pada persamaan berikut (2.2.)

$$R_0(\phi) = \begin{cases} \frac{(M_1+1)}{2\pi} \cos^{m_1}(\phi), & \text{Untuk } \phi \in [-\pi/2, \pi/2] \\ 0, & \text{Untuk } \phi \geq -\pi/2 \end{cases} \quad (2.2.)$$

Keterangan:

$R_0(\phi)$  = *Lambertian Radiant Intensity*

$m_1$  = Arah pancaran ke sumber

$\Phi$  = Nilai sudut daya radiasi maksimum

Dimana  $m_1$  adalah nilai *Lambert* yang menyatakan arah dari pancaran sumber, dan  $\phi = 0$  adalah nilai sudut daya radiasi maksimum. Untuk persamaan *Lambertian Emission* ( $m_1$ ) berhubungan dengan *semiangle* LED pada nilai setengah daya (Ghassemlooy, Popoola dan Rajbhandari, 2013), seperti pada persamaan (2.3.) berikut.

$$m_1 = \frac{-\ln 2}{\ln(\cos \phi_{1/2})} \quad (2.3.)$$

Keterangan:

$m_1$  = Arah pancaran ke sumber

Dan untuk persamaan *radiant intensity* ialah seperti persamaan (2.4.) berikut.

$$S(\phi) = P_t \frac{(m_1+1)}{2\pi} \cos^{m_1}(\phi) \quad (2.4.)$$

Keterangan:

$S(\phi)$  = *Radiant Intensity*

$m_1$  = Arah pancaran ke sumber

$P_t$  = Daya kirim

Detector dimodelkan sebagai area aktif ( $A_r$ ) yang mengumpulkan radiasi pada sudut  $\psi$  yang nilainya lebih kecil dari efektifitas penerimaan pada *field of view* (FOV) di area detector (Ghassemlooy, Popoola dan Rajbhandari, 2013). Diberikan pada persamaan (2.5) berikut.

$$A_{eff}(\psi) = \begin{cases} A_r \cos \psi, & 0 \leq \psi \leq \pi/2 \\ 0, & \psi > \pi/2 \end{cases} \quad (2.5.)$$

Meskipun idealnya semakin luas area detektor maka akan lebih baik untuk mengumpulkan daya terima, dalam kenyataannya hal itu akan menyebabkan sejumlah masalah, seperti meningkatnya biaya produksi, meningkatnya sambungan kapasitansi, dan jika demikian maka *bandwidth* pada penerima akan menurun, dan noise akan semakin membesar. Oleh karena itu, penggunaan *non-imaging concentrator* adalah solusi untuk menghemat biaya dan untuk meningkatkan nilai efektifitas pada penerima. (Ghassemlooy, Popoola dan Rajbhandari, 2013)

Nilai *optical gain* ideal dari *non-imaging concentrator* memiliki internal index bias (Ghassemlooy, Popoola dan Rajbhandari, 2013), seperti pada persamaan (2.6.) berikut.

$$g(\psi) = \begin{cases} \frac{n^2}{\sin^2 \psi_c}, & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0, & \psi > \psi_c \end{cases} \quad (2.6.)$$

Dimana nilai  $\psi_c \leq \pi/2$  dari nilai FOV

Menurut teori tentang *constant radiance theorem*, FOV dari sistem di penerima berhubungan dengan luas area penampang di lensa ( $A_{coll}$ ). (Ghassemlooy, Popoola dan Rajbhandari, 2013)

$$A_{coll} = \sin\left(\frac{\psi_c}{2}\right) \leq A_r \quad (2.7.)$$

Keterangan:

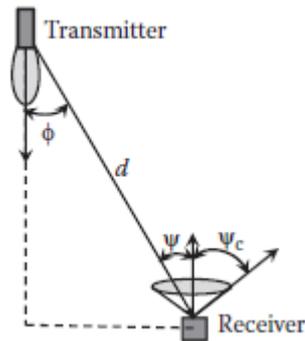
$A_{coll}$  = Luas area penampang lensa

$\psi_c$  = Sudut kritis

$A_r$  = Area detektor

Dari persamaan (2.7.) terlihat bahwa penguatan *concentrator* meningkat ketika nilai FOV berkurang. Panjang *link* untuk OWC relatif pendek dan karenanya akan muncul *attenuation* karena *absorption* dan *scattering* sangat rendah.

Mempertimbangkan OWC *link* dengan *Lambertian source*, kemudian transmisi *bandpass filter* optik pada penerima  $T_s(\psi)$  dan *gain* dari *non-imaging concentrator*  $g(\psi)$ , penguatan DC untuk penerima terletak pada jarak ( $d$ ) dan sudut ( $\phi$ ) sehubungan dengan pemancar, dapat dilihat pada gambar 2.4. dan dapat diperkirakan dengan persamaan (2.8.) (Ghassemlooy, Popoola dan Rajbhandari, 2013)



Gambar 2.4. Model Geometri *LOS Propagation*  
(Ghassemlooy, Popoola, & Rajbhandari, 2013)

$$H_{LOS}(0) = \begin{cases} \frac{A_r(m_1+1)}{2\pi d^2} \cos^{m_1}(\phi) T_s(\psi) g(\psi) \cos \psi, & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0, & \text{lainya} \end{cases} \quad (2.8.)$$

Oleh karena itu daya terima menjadi seperti persamaan (2.9.) berikut

$$P_{r-loss} = H_{los}(0).Pt \quad (2.9.)$$

Keterangan:

$P_{r-loss}$  = Daya Terima

$Pt$  = Daya Kirim

Dalam LOS *link* ketika pengirim dan penerima sejajar tegak lurus maka akan meningkatkan sinyal dari LOS itu sendiri (Ghassemlooy, Popoola dan Rajbhandari, 2013), seperti pada persamaan berikut (2.10.)

$$H_{los}(m_1) = \frac{(m_1+1)}{2} H_{los} \quad (2.10.)$$

Dimana  $H_{los}$  berdasarkan *Lambertian transminnter* dengan nilai  $m_1=1$

Dalam LOS *link* jarak pendek, *multipath dispersion* jarang menjadi masalah, dan LOS *link channel* sering dimodelkan sebagai *linear attenuation* dan *delay* optik. LOS *link* dianggap *non-frequency selective* dan *path* LOS bergantung pada sudut jarak antara pemancar dan penerima, respon impulsnya dapat dinyatakan seperti persamaan berikut (2.10.) (Ghassemlooy, Popoola dan Rajbhandari, 2013)

$$H_{los}(t) = \frac{A_r(m_1+1)}{2\pi d^2} \cos^{m_1}(\phi) Ts(\psi)g(\psi) \cos \psi \delta \left( t - \frac{d}{c} \right) \quad (2.11.)$$

Keterangan:

C = Kecepatan cahaya

$\delta$  = *Dirac Function*

Dimana c adalah kecepatan cahaya dalam ruang hampa, ( $\delta$ ) adalah dirac function dan  $\delta \left( t - \frac{d}{c} \right)$  adalah delay dari sinyal propagasi. Persamaan tersebut mengasumsikan bahwa  $\phi < 90^\circ$ ,  $\psi < \text{FOV}$  dan  $d > \sqrt{A_r}$ . (Ghassemlooy, Popoola dan Rajbhandari, 2013)

### 2.1.7. Attenuation coefficient

*Attenuation coefficient* adalah sebuah nilai tetapan (koefisien) yang menggambarkan seberapa mudah suatu material dapat ditembus oleh pancaran atau energi. Dalam hal ini, absorpsi (*specific attenuation*) yang diukur memiliki satuan dB/km dan didefinisikan sebagai persamaan 2.2. berikut (Ghassemlooy, Popoola dan Rajbhandari, 2013)

$$\beta = C_1 \lambda^{-\delta} \quad (2.12.)$$

Keterangan:

$\beta$  = *Attenuation coefficient*

$\lambda$  = Panjang Gelombang (nm)

$\delta$  = parameter konstan yang terkait dengan distribusi ukuran partikel dan visibilitas

$C_1$  dan  $\delta$  adalah parameter konstan yang terkait dengan distribusi ukuran partikel dan visibilitas, serta  $\lambda$  adalah panjang gelombang yang beroperasi pada pengukuran. *Attenuation coefficient* dapat dihitung dengan menjumlahkan efek atenuasi dari masing-masing tetesan kabut yang terdapat pada setiap unit volume dan per unit peningkatan dalam jarak.  $C_1$  adalah suatu nilai yang berkaitan dengan jarak pandang (jangkauan visual)  $V$ , pada Model Kim, dimana nilai jangkauan visual adalah 550 nm. (Ghassemlooy, Popoola dan Rajbhandari, 2013)

$$C_1 = \frac{3.91}{V} (550)^\delta \quad (2.13.)$$

Keterangan:

$V$  = *Visibility* (jarak pandang)

Dari dua persamaan di atas, maka didapatkan persamaan 2.4. sebagai berikut:

$$\beta = \frac{3.91}{V} \left(\frac{\lambda}{550}\right)^{-\delta} \quad (2.14.)$$

Keterangan:

$\beta$  = *Attenuation coefficient*

$V$  = *Visibility* (jarak pandang)

$\lambda$  = Panjang Gelombang (nm)

$\delta$  = parameter konstan yang terkait dengan distribusi ukuran partikel dan visibilitas

$\delta$  adalah parameter konstan yang berhubungan dengan ukuran partikel pada rentang jarak pandang tertentu, dengan memiliki nilai sebagai berikut:

$$\delta = \begin{cases} 1.6, & \text{Untuk } V > 50 \text{ km} \\ 1.3, & \text{Untuk } 6 \text{ km} < V < 50 \text{ km} \\ 0.16V + 0.34, & \text{Untuk } 1 \text{ km} < V < 6 \text{ km} \\ V - 0.5, & \text{Untuk } 0.5 \text{ km} < V < 1 \text{ km} \\ 0, & \text{Untuk } V < 0.5 \text{ km} \end{cases} \quad (2.15.)$$

Nilai rentang visibilitas dalam kondisi cuaca yang berbeda disajikan di Tabel 2.3. Ketika dalam kondisi kabut sedang hingga tebal, menggunakan panjang gelombang yang lebih tinggi untuk tautan FSO tidak memberikan keuntungan dibandingkan yang lebih pendek karena *attenuation coefficient* adalah panjang

gelombang independen dalam kondisi seperti itu. (Ghassemlooy, Popoola dan Rajbhandari, 2013)

Tabel 2.3. Kondisi Cuaca dan Jarak Pandang  
(Ghassemlooy, Popoola, Rajbhandari, 2013) "telah diolah kembali"

No.	Kondisi Cuaca	Jarak Pandang (m)
1	Kabut Tebal	200
2	Hujan	2000
3	Gerimis	20000
4	Cerah	50000

Butuh penelitian lebih lanjut untuk teori serta praktik dalam keadaan nyata investigasi model ini, jarak pandang yang rendah diperlukan untuk mengkonfirmasi bahwa redaman tersebut benar-benar tidak bergantung pada panjang gelombang ketika kondisi kabut tebal hingga cuaca cerah.