BAB 2
DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

W. Myers, G. Warren-myers (2007), dari penelitianya yang berjudul "*Survey of Wireless Communication Applications in The Railway Industry*" melakukan penelitian mengenai Teknik nirkabel yang digunakan di kereta api untuk komunikasi dan sinyal yang digunakan untuk sistem pemantauan keselamatan dan kehandalan kereta api[3].

R. Primananda, S. Djanali, A.M. Shiddiqi (2014), dari penelitianya yang berjudul "Analisa Kualitas Sistem komunikasi TETRA Pada Kereta Api Indonesia" melakukan penelitian mengenai perencanaan pembuatan topologi jaringan TETRA area DAOP 1 Jakarta pada KRL Jabodetabek dan area DAOP 8 Surabaya dengan hasil uji coba QoS menunjukkan bahwa hasil pembagian trafik yang ada pada 4 slot TDMA masih kurang maksimal untuk mendekati 115,2 kbps pada nilai *throughput* karena penggunaan *channel* yang kurang. Untuk nilai SNR didapatkan hasil yang baik yaitu rata-rata di atas 30 dB. Pada penelitian ini perbedaan topologi dan penempatan BTS sangat berpengaruh terhadap hasil kualitas jaringan yang didapatkan[4].

B.K. Husada, U.K. Usman, A. Mulyana (2018), dari penelitianya yang berjudul "Perencanaan *Terrestrial Trunked Radio* (TETRA) di Wilayah Bandara Internasional Husein Sastranegara" melakukan penelitian mengenai perencanaan pembuatan topologi jaringan TETRA di wilayah bandara internasional Husein Sastranegara dengan frekuensi kerja 410 MHz – 430 MHz dengan metode *planning* yang digunakan yaitu *capacity planning* dan *coverage planning*. Hasil perencanaan jaringan TETRA dengan metode *capacity planning* diperoleh hasil kebutuhan kapasitas kanal sebanyak 3 kanal. Sedangkan pada *coverage planning* berdasarkan hasil simulasi diperoleh 2 *site* yang dilengkapi dengan antena *sectoral* dengan konfigurasi antena yang paling optimal dalam percobaan dan skema yang dilakukan, yaitu antena pertama (sudut *azimuth* 300º dan elevasi 0º), serta antena kedua (sudut *azimuth* 88º dan elevasi 0º) dengan radius sel 1,47 km.

Hasil simulasi dengan skenario 3 pada percobaan 3 diperoleh area layanan dengan nilai sinyal terima paling tinggi yaitu -91 dBm[5].

2.2 DASAR TEORI

Sesuai dengan Peraturan Menteri perhubungan Nomor PM 45 Tahun 2018 tentang Teknis Perawatan Telekomunikasi Perkeretaapian, syarat sistem telekomunikasi di Kereta Api harus terekam, mempunyai sifat *selective call* dan *open call*, ada penunjuk waktu, ada fasilitas panggilan darurat dan dapat berkomunikasi 2 arah[6]. Sistem telekomunikasi di PT. Kereta Api Indonesia meliputi :

1. *Digital Communication*

   Digital Communication digunakan untuk mengawasi perjalanan kereta api yang terdiri dari *microwave, line communication, carries telephony,* dan *data traffic.*.

2. *Traindispatching System*

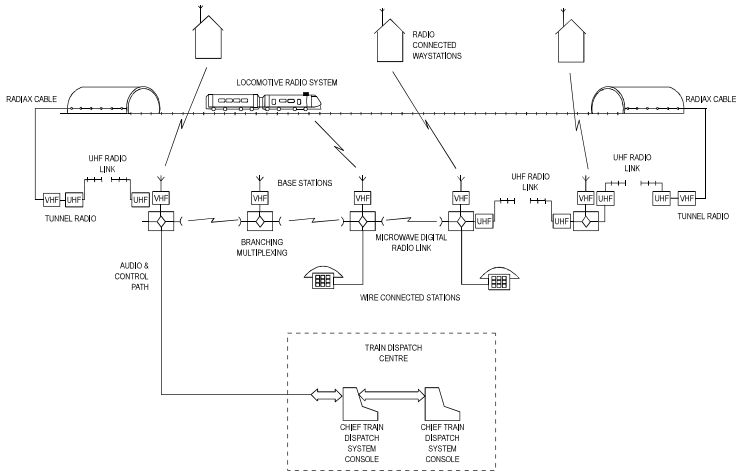
   Traindispatching System merupakan komunikasi suara dan persinyalan antara *traindispatch centre* dengan *waystation* (ws) dan lokomotif untuk mengontrol lalu lintas kereta api yang dilengkapi dengan identitas yang unik. Sifat komunikasinya adalah *selective call & open call*, maksudnya komunikasi dapat berlangsung setelah operator memilih perangkat tertentu yang akan diajak berkomunikasi dan dapat pula dilakukan konferensi dengan beberapa pihak yang ditentukan oleh operator. Dengan komunikasi semi *duplex* panggilan dan laporan dari setiap ws akan diterima oleh *traindispatch centre* (TDC). Dari *traindispatch centre* inilah lalu lintas kereta api bisa dikontrol. Setiap kereta api yang datang kepada stasiun tertentu, jam kedatangan dan kondisinya akan dilaporkan oleh stasiun tersebut melalui pesawat ws kepada TDC, sehingga adanya kecelakaan maupun keterlambatan kereta api bisa diketahui oleh TDC [1].

2.2.1 Radio *Traindispatching*

Radio *traindispatching* adalah suatu perangkat untuk penyedia komunikasi suara antara pusat kendali/PK dengan PPKA di stasiun dan masinis di kabin lokomotif melalui media transmisi radio frekuensi, fiber optik dan saluran fisik. Sistem radio *Traindispatching* mengenal lebih luas yang mencakup seluruh wilayah kerja PT. Kereta Api Indonesia (Persero) di semua Daop di Jawa, Divre I SU, Divre III SS dan Jabodetabek Daop I Jak/KRL.

Jaringan *traindispatching* umunya menggunakan band frekuensi VHF, antar jaringan yang dihubungkan menggunakan multiplexer dengan sistem radio *microwave*, atau jaringan FO. Jaringan *Traindispatching* di Pulau Jawa adalah sistem radio Analog (LSE) yang mulai beroperasi sejak tahun 1989, terbagi atas 23 *section* (*section* 22 digunakan khusus untuk BP-STL), mulai dari Merak hingga Banyuwangi.

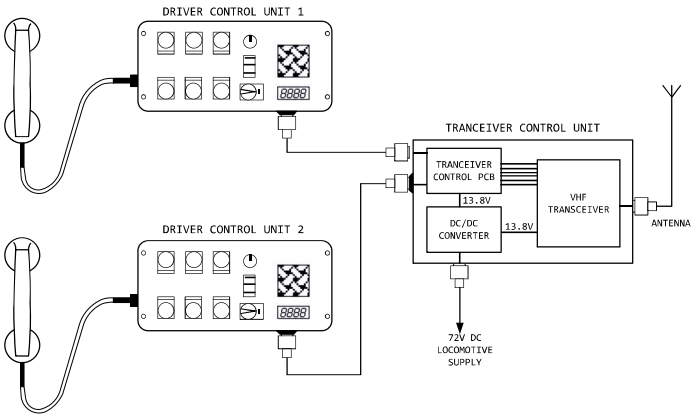
Sistem Radio *Traindispatching* dibedakan menjadi dua kelompok besar, yang pada dasarnya dibedakan berdasarkan sistem yaitu jaringan *traindispatching* LSE dan jaringan *traindispatching* Simoco. Di wilayah Sumatera Selatan sistem radio *Traindispatching* menggunakan terminal operator buatan Zetron/*Line Dispatch Terminal* (LDT) dengan menggunakan sistem radio *utility*/MPT 1327 yang mulai beroperasi sekitar bulan April 2013. Untuk perangkat sistem radio *Traindispatching* khusus untuk wilayah jabodetabek fasilitas khusus untuk operasi perjalanan kereta api KRL, dengan menggunakan radio Digital/Tetra pada band frekuensi UHF, yang beroperasi sekitar April 2011 [1].



Gambar 2.1 Sistem Komunikasi *Traindispatching* Sederhana [1].

2.2.2 Radio Lokomotif

Radio lokomotif adalah suatu perangkat yang terpasang di kabin lokomotif berfungsi untuk komunikasi berupa informasi perka (Perjalanan KA) antara masinis dan pusat kendali melalui media transmisi frekuensi. Lokomotif dipasangi dengan *transceiver* VHF yang bekerja menghubungi *base station* VHF.

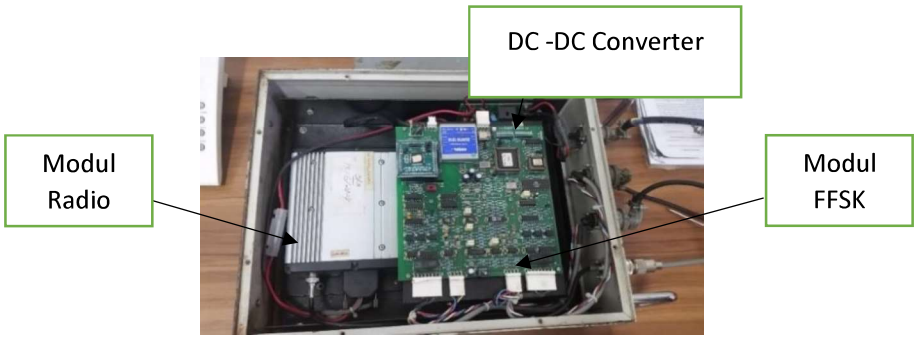


Gambar 2.2 Bagan Radio Lokomotif [1]**.**

Radio lokomotif pada tiap lokomotif terdiri atas tiga modul utama, yaitu dua unit *console Radio Locomotive Control Units* (RLCU**)**, satu unit *Locomotive Tranceiver Unit* (LTU) yang dilengkapi dengan sistem antena.

a. *Locomotive Tranceiver Unit* (LTU)

Locomotive Tranceiver Unit merupakan sebuah kotak baja yang di dalamnya terdapat komponen *Transceiver* VHF (Modul Radio), DC–DC *Converter* dengan *input* nominal 72 Volt dan *output* 13,8 Volt dan *Locomotive Transceiver Contro*l PCB (Modul FFSK).



Gambar 2.3 Bagian *Lokomotif Transceiver Unit* (LTU)

b. *Radio Lokomotif Control Unit* (RLCU)

RLCU merupakan *console* yang digunakan oleh masinis yang dilengkapi dengan *handset* (gagang) telepon, tombol-tombol dan indikator. Sedangkan, tombol-tombol tersebut digunakan untuk memilih jenis panggilan ke PK, sedangkan indikator menunjukkan status kanal komunikasi saat itu apakah sedang dalam kondisi ”*busy*” atau “*idle*” [1].

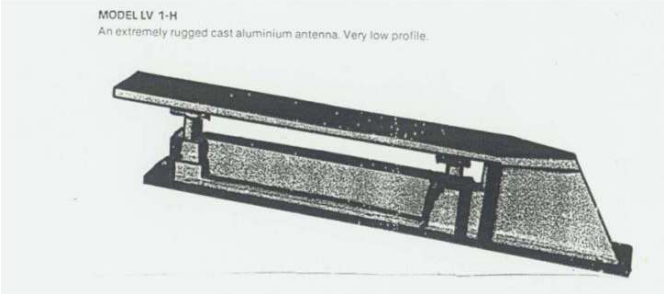
Gambar 2.4 RLCU tipe Simoco [1]**.**

Simbol	Nama	Fungsi
RTS	Request To Speak	Permintaan Panggilan normal ke PK
PC	Priority Call (PC)	Permintaan Panggilan prioritas ke PK
EMER EMER	Emergency Call (EMERG)	Permintaan Panggilan darurat ke PK
	Push To Talk (PTT)	Tekan dan tahan untuk berbicara, lepas untuk mendengarkan
ALARM	Alarm Cancel	Tombol untuk mengakhiri panggilan/pembicaraan/tekan terus untuk meminculkan channel
	Rst Stop	Tekan untuk mereset Buzzer
	Channel	Pengaturan pemindahan channel
	Volume	Pengaturan volume yang keluar dari speaker console
	Display	Menampilkan jam/channel

Gambar 2.5 Fungsi tombol- tombol yang ada pada RLCU [1]**.**

c. Antena Radio lokomotif

Sifatnya omni *direktional*, panjang gelombang 1/4 Lamda serta mempunyai frekuensi kerja 160 - 180 Mhz. Antena tersebut ditempatkan diatas kabin lokomotif [1].



Gambar 2.6 Antena Radio Lokomotif [1]**.**

2.2.2.1 Prinsip kerja radio lokomotif

Secara umum radio lokomotif menggunakan *Locomotif Transceiver Unit* (LTU) yang terorganisir dengan akses terhadap *Train Dispatching Console* (TDPC) yang beroperasi bersama peralatan VHF *Base station*. Pada saat *idle*/komunikasi pasif induksi normal pada konsol memberikan status padam.

a. Proses pemanggilan

Radiolok atau *console* bekerja untuk melakukan proses pemanggilan setelah mendapatkan sinyal tegangan dari tombol kendali yang kemudian dikirim melalui kabel *interface* ke modul *signaling control interface* untuk dirubah dari sinyal tegangan menjadi sinyal data dan audio selanjutnya dikirim ke modul radio *transceiver* dirubah menjadi sinyal frekuensi /rf untuk dikirim melalui antena radiolok ke *base station* terdekat melalui gelombang frekuensi.

Setelah *base station* terdekat menerima sinyal frekuensi dari radiolok sinyal tersebut diproses sehingga menjadi sinyal data dan audio yang selanjutnya dikirim ke TDPC/PK berupa suara untuk pembicaraan dan data untuk identitas lokomotif.

b. Proses penerimaan

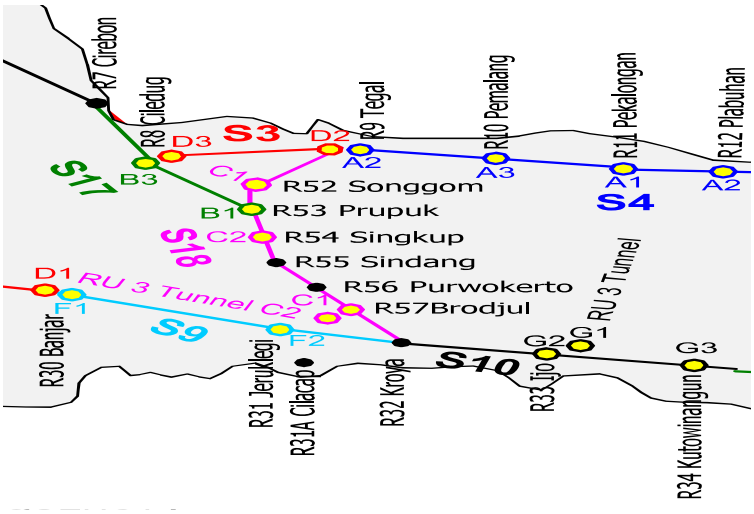
Radiolok atau *console* pada saat menerima panggilan dari PK memberikan indikasi berupa suara (*Ringtone*) dan indikasi lampu *Busy* menyala dan indikasi STATUS akan menyala tanpa berkedip (*Continuous on*) yang menandakan adanya panggilan dari PK.

Proses penerimaan tersebut berawal dari sinyal audio dan data yang dikirim dari TDPC ke *base station* yang kemudian diproses menjadi frekuensi yang selanjutnya dipancarkan melalui antena untuk mengirimkan sinyal tersebut berdasarkan identitas lokomotif yang dituju. Setelah sinyal tersebut diterima oleh

radiolok yang bersangkutan, modul *receiver* menangkap sinyal tersebut yang kemudian diproses ke modul *Signaling Control Interface* untuk dirubah menjadi sinyal tegangan yang selanjutnya diterima oleh *Console* menjadi data dan suara [1].

2.2.2.2 Pemilihan Kanal (*Channel Selection*)

Pada saat perangkat radio lokomotif diaktifkan (*power on*) dan jika lokomotif memasuki seksi/areal wilayah lain masinis/operator lokomotif harus memilih kanal (*channel*) yang sesuai dengan "nomor seksi" ditempat kedudukan lokomotif saat itu berada, sebagai contoh jika lokomotif sedang berada di (atau memasuki) seksi 8, masinis harus memindahkan tombol pemilih kanal pada nomor 8 (*channel* 8) [1].



Gambar 2.7 Pembagian kanal pada Daop V Purwokerto [1]**.**

2.2.3 *Base station*

Base station adalah suatu perangkat pendukung berupa terminal yang berfungsi sebagai pengolah atau pemroses suatu sinyal berupa data dan *voice* (suara) yang dikirim atau diterima dari perangkat radio lok, radio *waystation*, TDPC (*Train Dispatch Console*) atau perangkat lain yang membutuhkan media *base station*. Pada sisi perangkat *base station* terdapat *receiver voting*, yang

digunakan untuk mencari jalur komunikasi terbaik antara penerima *base station* VHF dan penerima radio lokomotif.

A. Komponen *Base station*

Komponen *Base station* terdiri dari beberapa bagian, bagian tersebut diantaranya :

a. *Duplexer* adalah suatu perangkat untuk membedakan filter frekuensi terima/Rx maupun kirim/Tx dengan fungsi bisa kirim dan terima hanya dengan satu antena.

b. *Transmitter* adalah seperangkat pemancar yang berfungsi meneruskan atau memancarkan kembali sinyal yang diterima oleh penerima.

c. DPX NUD adalah fasilitas untuk pemilihan frekuensi penerimaan (Rx) dan pengiriman (Tx).

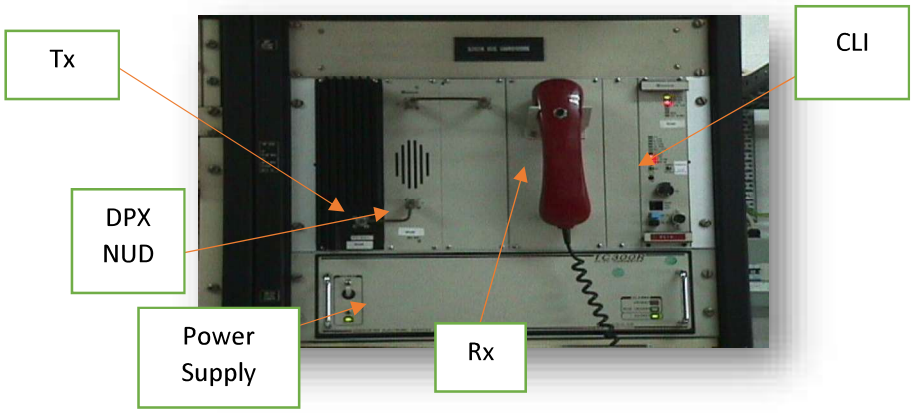
d. *Receiver* adalah perangkat penerima gelombang radio yang dipancarkan oleh radio *waystation*, radio lokomotif atau stasiun lain.

e. *Interface Alarm* dan Indikasi adalah suatu fasilitas yang memberikan atau menginformasikan aktifitas *base station*.

f. *Power Supply* adalah catu daya untuk memberikan *supply* (tegangan) sesuai dengan kebutuhan perangkat *base station.*

g. *Antenna* adalah suatu perangkat yang terpasang di lingkungan luar berfungsi sebagai penerimaan dan pengiriman sinyal yang dipancarkan.

h. *Handset* (*Optional*) adalah suatu alat untuk media komunikasi antara petugas tenaga teknisi dengan petugas operasional untuk membantu kelancaran komunikasi pada saat melakukan perawatan atau perbaikan.



Gambar 2.8 Perangkat *Base station* [1]**.**

B. Prinsip Kerja *Base station*

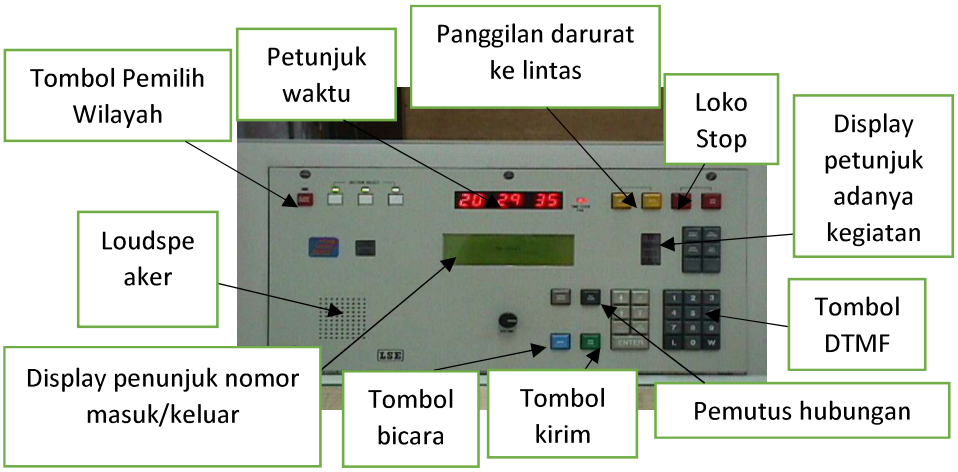
Base station bekerja menggunakan sistem komunikasi secara *full duplex*, dimana nilai frekuensi *transmit* tidak sama dengan nilai frekuensi *receive* tetapi bekerja secara bersamaan, artinya pada saat sedang menerima sekaligus dapat memancarkan/mengirimkan sinyal frekuensi. *Base station* menyediakan pembicaraan antar pengguna di suatu area dengan meneruskan pembicaraan tersebut (sebagai *repeater*). *Base station* dihubungkan pada kanal omnibus yang saling terhubung dengan *base station* lainnya dalam satu *section* (kanal) sistem *Traindispatching* sekaligus menyediakan antar muka ke *console* PK [1]

2.2.4 Perangkat PK/TDPC

Perangkat *Train Dispatch Consoles* (TDPC) terletak di ruangan Pusat Kendali (PK) dan digunakan untuk mengontrol semua komunikasi pada *section* yang telah dipilih antara radio lokomotif dan *waystation*. Operator PK mengendalikan dan memonitor semua operasi dalam wilayah *section*-nya tersebut[1]. Pada tiap *Train Dispatch Consoles* (TDPC) terdiri atas :

a. *Train Dispatch System Console*
b. *Chief Train Dispatch System Console*
c. *Voice Logging Recorder*
d. *Logging Printer*
e. *PAX Phones*

Gambar 2.9 Meja Operator PK



Gambar 2.10 Panel kontrol meja PK [1]**.**

2.2.4.1 Pengaturan tentang pemilihan *section* / wilayah yang dikendalikan PK/PPKP

Pengaturan tentang pemilihan *section* atau wilayah yang dikendalikan oleh pusat kendali terdiri dari beberapa pengaturan, pengaturan tersebut yaitu :

a. Dalam satu waktu, setiap *section* hanya bisa dikendalikan atau dikuasai oleh satu operator PPKP melalui panel kontrolnya.
b. Setiap panel kontrol bisa digunakan untuk mengendalikan lebih dari satu *section*.
c. Daftar stasiun yang ditampilkan pada daftar stasiun aktif sesuai dengan *section* yang sedang ditangani atau dikendalikan oleh PPKP.
d. Terdapat indikasi yang jelas untuk *section* yang sedang tidak dikuasai oleh PPKP, dan *section* yang sedang dikuasai oleh PPKP di panel kontrol tersebut [1].

2.2.5 Kanal Komunikasi

Radio *traindispatching* analog menggunakan *channel single carrier*, yaitu hanya ada satu kanal yang menduduki *bandwidth* yang ada, sedangkan untuk keperluan *traindispatching* di PT. Kereta Api Indonesia (Persero), disediakan dua kanal komunikasi (*channel communication*) dengan menggunakan modulasi yang digunakan dalam sistem *Traindispatching*, yaitu :

A. FFSK *Digital Signaling*

Yang merupakan transmisi untuk pesan kontrol (*transmission of control messages*) :

a. Dari TDS *Consoles* ke pengguna (WS atau radio lokomotif) mengijinkan pengguna untuk menggunakan sistem komunikasi (*polling*).
b. Dari pengguna ke TDS *Consoles* penerimaan status panggilan dan pesan dari terminal pengguna (*response*).

B. *Voice Analog Communication*

Untuk komunikasi antara pengguna (WS atau radio lokomotif) dengan PK (Pusat Kendali). Setiap perangkat yang digunakan oleh pengguna (masinis dan PPKA) dilengkapi oleh nomor identitas (ID). ID berfungsi sebagai nomor panggil dan identitas (sebagai validitas) perangkat. Tanpa nomor ID, perangkat komunikasi tidak dapat dikenali. ID dilewatkan melalui kanal FFSK [1].

2.2.6 Penggunaan Frekuensi

Jaringan sistem *Traindispatching* menggunakan rentang frekuensi SHF. Sistem *Traindispatching* menggunakan konsep komunikasi *half duplex* dengan frekuensi Tx (*transmitter*) berbeda dengan frekuensi Rx (*receiver*). Dalam satu wilayah *section* dapat terdiri atas beberapa *base station*. Tiap batas wilayah *section* tersebut ditandai dengan Semboyan 8L (pemindahan *channel*). Ada beberapa aturan dalam penggunaan frekuensi ini, yaitu :

a. Frekuensi Rx tiap *base station* dalam satu *section* adalah sama, sedangkan frekuensi Tx-nya berbeda-beda. *Base station* bekerja secara *full duplex* menerima dan mengirimkan sinyal komunikasi secara terus menerus.
b. Frekuensi Tx dan Rx perangkat *waystation* menyesuaikan dengan frekuensi Rx dan Tx *Base station* yang terdekat atau sinyalnya terkuat.
c. Pada radio lokomotif untuk setiap *section* atau *channel* yang dipilihnya terdapat satu frekuensi Tx dan beberapa frekuensi Rx..
d. Radio lokomotif akan melakukan proses *scanning* dan *voting* untuk memilih frekuensi Rx mana yang akan digunakan berdasarkan kekuatan sinyal atau daya yang ditransmisikan oleh *Base station* dalam *section* tersebut. Hal tersebut terjadi apabila sinyal *Base station* melebihi -100 dBm atau apabila

hasil prosedur *race voting* memberikan nilai kuat sinyal yang sama pada lebih dari satu *Base station*.

Tiap perangkat dilengkapi dengan frekuensi CTCSS (*Continous Tone Code Squelch Signaling*) yang berfungsi untuk mencegah terjadinya interferensi dengan pihak luar PT. Kereta Api indonesia (Persero). CTCSS bekerja dengan cara mengirimkan *tone* frekuensi rendah (sub-*audible*), yang dimodulasi dengan deviasi 500 Hz pada semua transmisi. *Tone* ini kemudian dideteksi oleh penerima dan setiap gelombang *carrier* RF (*radio frequency*) yang tidak dimodulasi dengan *tone* yang sesuai tidak akan terhubung dengan jaringan.

Pada satu wilayah kerja atau *section*, frekuensi Rx dan CTCSS dari tiap *Base station* harus sama dan sesuai dengan frekuensi Tx dari radio lokomotif dan *waystation*, sedangkan frekuensi Tx dari tiap *Base station* antar satu (walaupun dalam satu *section*) dengan lainnya berbeda. Jenis frekuensi CTCSS yaitu : frekuensi 162,2 MHz, frekuensi 173,8 MHz, dan frekuensi 186,2 MHz. Daop V Purwokerto mempunyai 3 Kanal (*Section*) yang mempunyai frekuensi yang berbeda dan digunakan untuk komunikasi radio lokomotif antar masinis dengan pusat kendali sesuai dengan tujuan keberangkatan kereta api tersebut [1].

Tabel 2.1 Daftar Kanal dan Frekuensi tiap kanal DAOP V Purwokerto

Section	Lokasi	Lokasi PK	Frek. CTCSS	Frek. Tx	Frek. Rx
18	Songgom,prupuk,	PWT	186,2 MHz	171,550 MHz	167,000 MHz
	Bumiayu,patuguran,pwt	PWT		171,600 MHz	167,000 MHz
	Kebasen *to* kroya	PWT		171,650 MHz	167,000 MHz
9	Banjar *to* jeruklegi	PWT	173,8 MHz	171,750 MHz	167,425 MHz
	Jeruklegi *to* Kroya	PWT		172,025 MHz	167,425 MHz
10	Kroya *to* Ijo	PWT	162,2 MHz	171,775 MHz	167,175 MHz
	Ijo *to* Kutowinangun	PWT		171,825 MHz	167,175 MHz

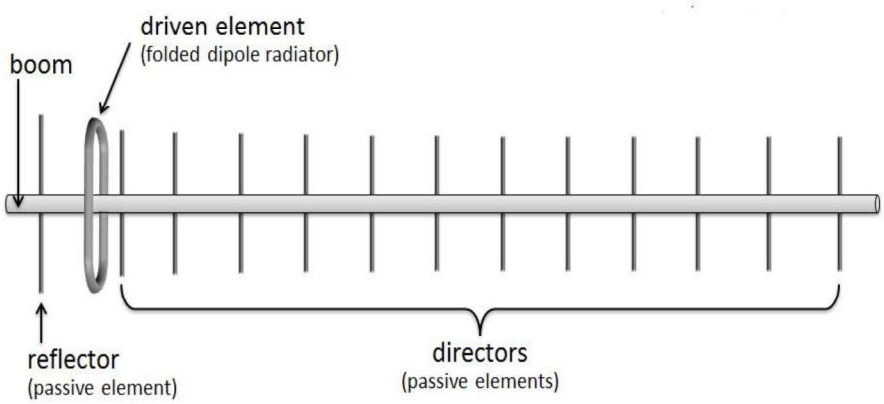
2.2.7 Antena Yagi

S. Uda dan Hidetsugu Yagi yaitu penemu antena yagi yang ditemukan di Universitas Tohoku pada tahun 1926. Antena Yagi Uda merupakan antena susun parasitik dari antena dipole. Antena ini umumnya terdiri dari sebuah reflektor, sebuah *driven element*, dan beberapa direktor. Keuntungan menggunakan antena yagi ini adalah antena ini menghasilkan *gain* yang besar, dimana semakin

banyak elemen yang di buat maka semakin besar pula penguatan yang di hasilkan, sedangkan kerugiannya antena ini yaitu antena ini merupakan antena satu arah, jika terjadi kemiringan sudut dari antena maka sinyal yang diterima akan menjadi kurang bagus. Antena ini bersifat direksional, yaitu menambah *gain* hanya pada salah satu arahnya. Sisi antena yang berada di belakang reflektor memiliki *gain* yang lebih kecil daripada di depan direktor**.**

Antena Yagi yang termasuk dalam jenis antena-antena kanal gelombang berjalan, dalam bentuk bakunya terdiri dari sejumlah antena kawat dipole yang diletakkan sejajar dalam suatu bidang. Satu diantaranya merupakan dipole aktif, sedangkan yang lainnya adalah pasif. Satu dari dipole pasif ini berada dibelakang *dipole* aktif dan berfungsi sebagai pemantul, dipole pasif lainnya terletak di depan dipole aktif sebagai pengarah.

Dipole pasif akan berlaku sebagai pengarah kalau tahanannya kapasitif, karena itu panjangnya kurang dari setengah panjang gelombang. Biasanya satu dipole cukup sebagai pemantul karena pemantul tambahan tidak banyak pengaruhnya terhadap pola pancaran antena. Sebaliknya karena arah pancar antena sesuai dengan kedudukan pengarah, eksitasi intensif secara seri yang membentuk kanal gelombang berjalan ditunjang oleh jumlah pengarah, sehingga jumlah pengarahnya antara 2 hingga 12 merupakan hal yang biasa[7]. Antena yagi VHF yang digunakan dalam sistem *traindispatching* mempunyai *frekuensi range* 136 MHz sampai 174 MHz dengan *gain* 12 dB.



Gambar 2.11 Dimensi dan Konstruksi Antena Yagi Uda[7]**.**

2.2.8 *Link Budget*

Link budget merupakan semua faktor yang mempengaruhi SNR (*Signal to Noise Ratio*) sinyal atau jalur transmisi dan juga untuk mengetahui estimasi nilai maksimum dari pelemahan sinyal yang diperoleh antara *user* dan eNodeB atau MAPL (*Maximum Alowwable Path Loss*)[8]. Informasi mengenai *link budget* sangat penting dalam proses *planning* khususnya dalam menentukan *power output*.

2.2.8.1 Model Propagasi

Untuk mendapatkan konfigurasi *planning* berdasarkan *coverage* diperlukan pemodelan *pathloss* untuk kanal propagasi. Untuk frekuensi 168 MHz sampai 172 MHz menggunakan pemodelan *pathloss* Okumura Hatta. Model propagasi Okumura Hatta mempunyai rentang frekuensi 150 MHz sampai 1500 MHz, ketinggian antena *base station* antara 30 m sampai 200 m, ketinggian antena *mobile station* antara 1 m sampai 10 m, dan jarak pancar radio antara 1 km sampai 100 km[8]. Untuk mencari nilai propagasi okumura hatta terlebih dahulu harus mengetahui nilai dari a(hre) atau nilai faktor koreksi tinggi antena efektif. Untuk mencari nilai a(hre) menggunakan persamaan (2.1)[8].

$$a(\text{hre}) = 3{,}2(\log 11{,}75\text{hr})^2 - 1{,}1 \qquad \text{untuk } \textit{large area} \qquad (2.1)$$

Keterangan :

a(hre) = faktor koreksi tinggi efektif antena UE

hr = tinggi efektif dari antena UE dengan kisaran 1 m sampai 10 m

Untuk mencari nilai propagasi Okumura Hatta dapat diketahui menggunakan persamaan (2.2)[8].

$$\text{PL} = 69{,}55 + 26{,}16 \log f - 13{,}82 \log \text{hte} - a(\text{hre}) + (44{,}99 - 6{,}55 \log \text{hte})\log d \qquad (2.2)$$

Keterangan :

hte = tinggi efektif dari eNodeB dengan kisaran 30 m sampai 200 m

hr = tinggi efektif dari antena UE dengan kisaran 1 m sampai 10 m

a(hre) = faktor koreksi tinggi efektif antena UE

d = jarak antara eNodeB dengan UE (km)

f = frekuensi dari 150 MHz sampai 1500 MHz

Perhitungan luas cell diperoleh setelah mendapatkan nilai dari radius cell. Untuk mencari nilai luas *cell* dapat diketahui menggunakan persamaan (2.3) dan (2.4) [8].

$$\text{Lcell} = 2{,}6 \times d^2 \quad \text{untuk satu sektor} \tag{2.3}$$

$$\text{Lcell} = 1{,}3 \times 2{,}6 \times d^2 \quad \text{untuk dua sektor} \tag{2.4}$$

Perhitungan jumlah cell diperoleh setelah mendapatkan nilai luas cell. Untuk mencari nilai jumlah cell dapat diketahui menggunakan persamaan (2.5)[8].

$$\text{Jumlah cell} = \frac{\text{luas area}}{\text{luas cell}} \tag{2.5}$$

perhitungan jumlah pemancar *base station* diperoleh setelah mendapatkan nilai jumlah *cell*. Untuk mencari jumlah pemancar *base station* menggunakan persamaan (2.6)[8].

$$\text{Jumlah Pemancar Base Station} = \frac{\text{Jumlah cell}}{3} \tag{2.6}$$

2.2.8.2 *Doppler Shift*

Doppler Shift merupakan perubahan frekuensi atau pergeseran frekuensi radio yang disebabkan oleh gerakan MS (*mobile station*) yang dapat menyebabkan menurunnya kualitas suara. Pergeseran frekuensi ini tergantung pada kecepatan dan arah gerak MS yang akan menyebabkan modulasi frekuensi acak pada sinyal radio bergerak. Pergeseran *Doppler* dipengaruhi propagasi lintasan jamak yang dapat memberikan pergeseran positif atau negatif pada saat yang sama untuk lintasan yang berbeda. Pada saat MS (*mobile station*) bergerak relatif terhadap BS (*base station*), MS merasakan bergesernya frekuensi terima dari frekuensi pemancar [9]. Pergeseran frekuensi tersebut dapat dicari menggunakan persamaan (2.7) [9].

$$fd = \frac{v}{\lambda}\cos\theta \qquad (2.7)$$

Keterangan :

v = Kecepatan *Mobile station* relative terhadap *Base station*

λ = Panjang gelombang frekuensi pemancar

θ = Sudut datang

2.2.9 *Key Performance Indicator*

2.2.9.1 Level Daya Terima Sinyal

Level daya terima sinyal (*best signal*) digunakan untuk mengetahui nilai *power* yang diterima pada sisi pemancar *Base station* ke *user* (lokomotif). Nilai dari *best signal* dipengaruhi oleh arah pancaran dari antena. Arah *antenna*, daya pancar, lokasi *site*, dan tinggi antena juga dapat mempengaruhi perolehan daya sinyal yang rendah[10]. Nilai *range* level daya terima sinyal dapat dilihat berdasarkan tabel berikut ini.

Tabel 2.2 Level Daya Terima Sinyal[10]

Kualitas	*Range* Nilai level daya terima (dBm)
Sangat Baik	-80 ≥ *Max*
Baik	-95 ≤ -80
Normal	-100 ≤ -95
Buruk	-110 ≤ -100
Sangat Buruk	*Min* ≤ -100

2.2.9.2 *Pilot Quality Analysis* (Ec/Io)

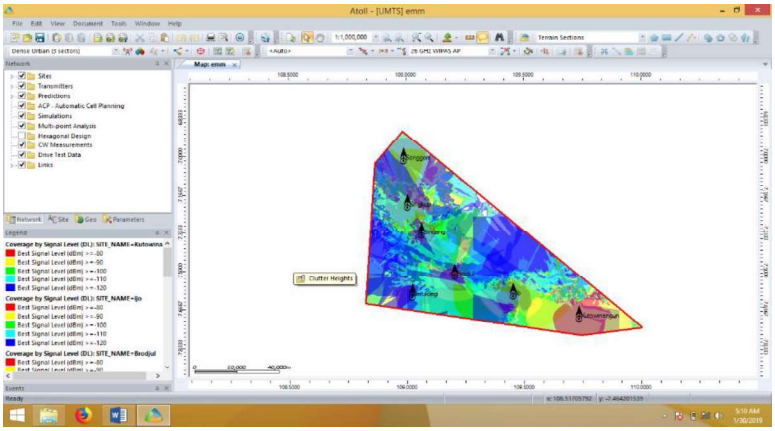
Pilot quality analysis atau *Energy Chip* per *Noise* yang menyatakan kualitas sinyal terima yang diterima *user* (lokomotif) dan merupakan perbandingan dalam dB dari Energi *chip* dengan daya *noise* total yang diukur pada *pilot channel* yang utama. Nilai Ec/Io mengidentifikasikan kualitas jaringan , yang apabila nilainya semakin kecil maka tingkat interferensi sinyal tinggi[10]. Nilai *range pilot quality analysis* (Ec/Io) dapat dilihat berdasarkan tabel berikut ini.

Tabel 2.3 Nilai Pilot Quality Analysis (Ec/Io)[10]

Kualitas	*Range* Nilai Ec/Io (dB)
Sangat Baik	≤ -5
Baik	-5 -sampai -10
Normal	-10 sampai - 15
Buruk	-15 sampai -20

2.2.10 *Software* Atoll

Atoll adalah *software* atau *tool radio planning* yang berfungsi untuk membantu dalam melakukan simulasi atau perencanaan *radio network* dan *optimization network*. *Software* Atoll dilengkapi dengan fitur yang lengkap dan terpadu, sehingga mendukung perencanaan teknologi jaringan pada teknologi 3GPP Multi-Rat, 3GPP2 Multi-Rat, Backhaul, CDMA2000-1Xrtt 1XEV-DO, GSM GPRS EDGE, LTE, TD-SCDMA, UMTS HSPA, Wi-Fi, WiMAX 802.16e dan *Microwave Radio Link*[11].



Gambar 2.12 Tampilan *Software* Atoll

Software Atoll memiliki tiga menu utama yaitu :

1. *Map* Menu

   Menu atau bagian ini berfungsi sebagai *template* area kerja untuk menampilkan *map* (peta) wilayah perencanaan dan posisi *site* hasil perencanaan.

2. *Toolbar* Menu

   Menu atau bagian ini terdiri dari beberapa *tool* yang dapat membantu dalam perencanaan. *Tool* yang dimaksud antara lain *template transmitter*, *map* dan beberapa *tool* lain yang digunakan untuk membantu proses simulasi perencanaan.

3. *Explorer* Menu

   Menu atau bagian ini terdiri dari tiga bagian, yaitu :

   a. *Geo Tab*

      Bagian ini berfungsi untuk mengolah data geografis yang digunakan dalam perencanaan yang terdiri dari *map* (peta) dan karakteristik dari wilayah perencanaan.

   b. Data Tab

      Bagian ini berfungsi untuk mengolah data yang digunakan dalam proses perencanaan. Data tersebut antara lain *transmitter*, *site*, dan menu lain untuk membantu dalam proses perencanaan.

   c. *Modules* Tab

      Bagian ini berfungsi untuk mengolah data model propagasi yang digunakan dalam proses perencanaan[11].