

ANALISA KUALITAS LAYANAN SISTEM KOMUNIKASI TETRA PADA KERETA API INDONESIA

Rakhmadany Primananda¹⁾, Supeno Djanali²⁾, dan Ary Mazharuddin Shiddiqi³⁾

^{1, 2, 3)} Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia
e-mail: rakhmadhany@yahoo.com¹⁾, supeno@its.ac.id²⁾, shidiq@its-sby.edu³⁾

ABSTRAK

Pada sistem komunikasi dan informasi yang ada pada Perusahaan Terbatas Kereta Api Indonesia (PT KAI) Persero masih belum terintegrasi semua untuk saat ini. Sistem komunikasinya masih menggunakan sistem komunikasi analog seperti Very High Frequency (VHF) dengan frekuensi 400 MHz dan microwave yang mempunyai frekuensi 2 GHz, dimana kedua frekuensi tersebut terjadi interferensi terhadap frekuensi komunikasi selular. Sistem komunikasi analog ini tidak memungkinkan untuk bisa terintegrasi dengan informasi yang diberikan, karena membutuhkan perubahan secara digital.

Pada penelitian ini dibahas mengenai topologi jaringan TETRA untuk area Daop 1 Jakarta dalam hal ini KRL Jabodetabek dan TETRA untuk area Daop 8 Surabaya dengan simulator OPNET modeler. Hasil uji coba QoS menunjukkan bahwa hasil pembagian trafik yang ada pada 4 slot TDMA masih kurang maksimal untuk mendekati 115,2 kbps dalam hal throughput karena penggunaan channel yang kurang. Untuk SNR sudah didapatkan hasil yang baik yaitu rata-rata di atas 30dB. Perbedaan topologi dan penempatan BTS pada komunikasi sangat berpengaruh terhadap hasil kualitas jaringan yang didapatkan.

Kata Kunci: VHF, microwave, KAI, TETRA, TDMA

ABSTRACT

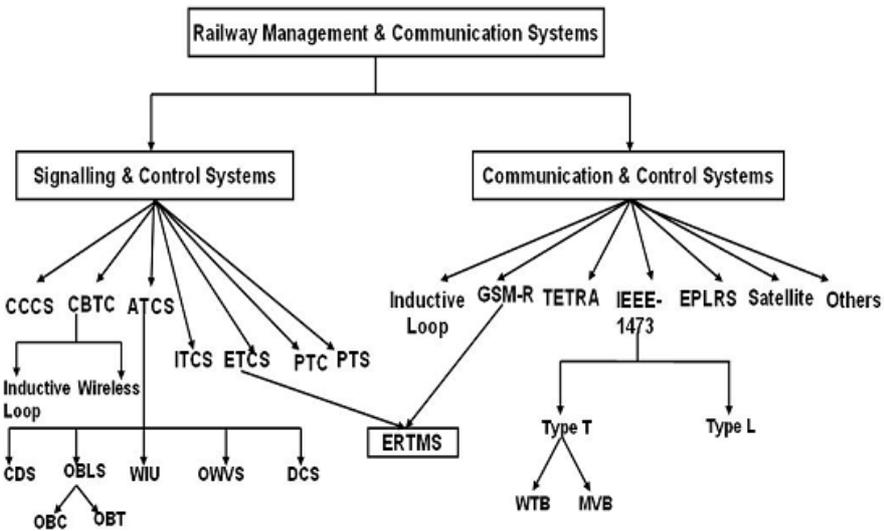
The current information and communications systems in the Indonesian Railway Company (PT KAI) have not been integrated one another. The communication systems are still using analog communication systems such as Very High Frequency (VHF) and microwave at 400 MHz and 2 GHz bands respectively. Both channels are interfered by the frequency of mobile communication devices. This situation consequences in the inability of the current systems to be integrated with the developing trend of information system that uses digital technique, thus requires conversion from analog to digital method.

This research discusses TETRA network topology for Railways in Daop 1 Jabodetabek and Daop 8 Surabaya using OPNET modeler simulator. Experiment results show that the distribution of existing traffic on 4 slots TDMA is still less than the maximum number of 115.2 kbps throughput due to less optimum use of the channels. On the other hand, the experiments show that SNR measurement have obtained good results with an average of over 30dB. This is determined by the differences topology and the placement of base stations in communication systems that affect the quality of network services produced.

Keywords: VHF, microwave, Indonesian Railway Company, TETRA, TDMA

I. PENDAHULUAN

SISTEM komunikasi dan informasi yang terintegrasi sangat menunjang suatu perusahaan untuk menunjang operasional yang efisien dan efektif serta dapat meningkatkan layanan dan keselamatan kepada pelanggan. Untuk awalnya membutuhkan investasi yang cukup besar, namun untuk selanjutnya pada tahap perawatan akan mudah dan dapat dimonitoring dengan baik. Untuk meningkatkan pelayanan dan keselamatan kepada pelanggan, faktor terpenting tersebut salah satunya berupa sistem komunikasi dan informasi yang dibuat oleh perusahaan. Hal inilah yang harus diperhatikan pada salah satu perusahaan kereta api terbesar di Indonesia, yaitu PT. Kereta Api Indonesia (PT KAI) Persero yang harus meningkatkan keselamatan pada penggunaannya demi terciptanya transportasi massal yang cepat, tepat, aman, dan informatif.



Gambar 1. Macam-macam sistem komunikasi dan persinyalan untuk kontrol kereta

Pada sistem komunikasi dan informasi yang ada pada Perusahaan Terbatas Kereta Api Indonesia (PT KAI) Persero masih belum terintegrasi semua untuk saat ini. Sistem komunikasinya masih menggunakan sistem komunikasi analog seperti *Very High Frequency* (VHF) dengan frekuensi 400 MHz dan *microwave* yang mempunyai frekuensi 2 GHz, dimana kedua frekuensi tersebut terjadi interferensi terhadap frekuensi komunikasi selular. Sistem komunikasi analog ini tidak memungkinkan untuk bisa terintegrasi dengan informasi yang diberikan, karena membutuhkan pengubahan secara digital. Sistem komunikasi ini digunakan untuk kebutuhan komunikasi antar masinis dengan stasiun atau Pemimpin Perjalanan Kereta Api (PPKA) dan juga Pusat Kendali (PK). Untuk transmisi data sistem informasi dari PT KAI sudah menggunakan kabel *fiber optic* dengan topologi *ring*. Sistem informasi dari PT KAI digunakan untuk internal perusahaan dan *ticketing online*. Kedua hal tersebut masih menjadi kendala untuk diintegrasikan karena regulasi yang sangat rumit dan berorientasi pada perjalanan kereta.

Jika kedua sistem tersebut dijalankan dengan sistem yang lebih modern seperti digital, maka akan memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap keselamatan penumpang dan informasi yang dibutuhkan penumpang bisa terpenuhi misalkan untuk melihat lokasi kereta yang dinaiki penumpang ada di daerah tertentu. Hal tersebut menjadi sangat penting untuk memberikan pelayanan yang terbaik bagi perusahaan sendiri dan pelanggan.

Di negara Eropa dan beberapa negara di Asia telah bergerak untuk membuat suatu sistem komunikasi dan informasi serta persinyalan kereta api yang terintegrasi. Berdasarkan [1] terdapat berbagai macam sistem komunikasi kereta api, seperti TETRA.

Terrestrial Trunked Radio (TETRA) merupakan salah satu standar telekomunikasi yang diproduksi oleh *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) yang arsitekturnya didesain untuk aplikasi multimedia (suara dan data) pada sistem *Private Mobile Radio/Public Acces Mobile Radio* (PMR/PAMR) yang dapat digunakan di lingkungan kereta api. TETRA ini juga memiliki kemampuan untuk terintegrasi dengan persinyalan.

Parameter *Quality of Service* (QoS) menjadi sangat penting untuk menjadikan suatu sistem komunikasi tersebut layak untuk diaplikasikan. Berdasarkan simulasi pada [2], [3] diberikan beberapa parameter QoS untuk menguji layanan dari sistem tersebut.

Pada penelitian ini, akan dibahas mengenai gambaran sistem komunikasi TETRA secara umum, desain topologi jaringan dari TETRA untuk area KRL Jabodetabek dan TETRA untuk area Daop 8 Surabaya dengan simulator OPNET modeler. Skenario dari uji coba juga akan dibahas. Setelah itu

akan dianalisis juga mengenai *Quality of Service* (QoS) yang sangat penting untuk menjadikan suatu sistem komunikasi tersebut layak diaplikasikan. Untuk parameter QoS yang akan diberikan berupa *throughput*, SNR, *delay*, dan penggunaan kanal.

II. TETRA

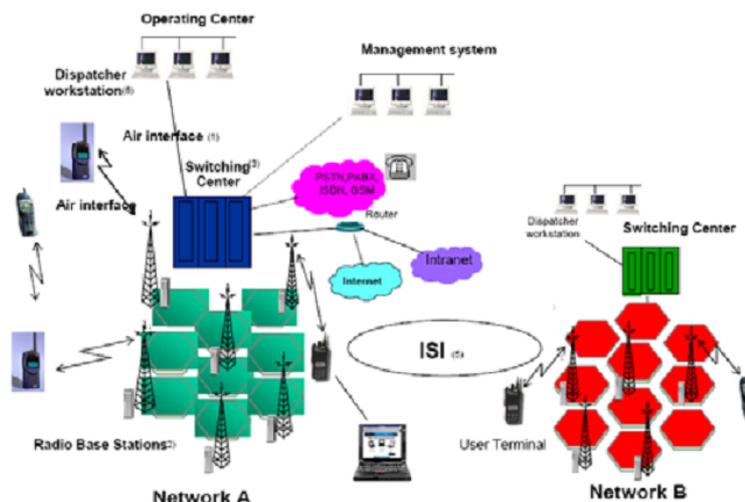
TETRA merupakan standar *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) untuk jaringan *Private Mobile Radio/Public Access Mobile Radio* (PMR/PAMR). TETRA menyediakan kemampuan *trunked* (TETRA V+D), *non-trunked*, dan komunikasi *direct mobile-to-mobile* (*Direct Mode Operation*). Layanan yang diberikan termasuk suara (panggilan kelompok atau individu), *circuit switched data*, *packet switched data*, dan *Short Data Service* (SDS) yang mirip dengan *Short Message Service* (SMS) dalam GSM.

A. TDMA

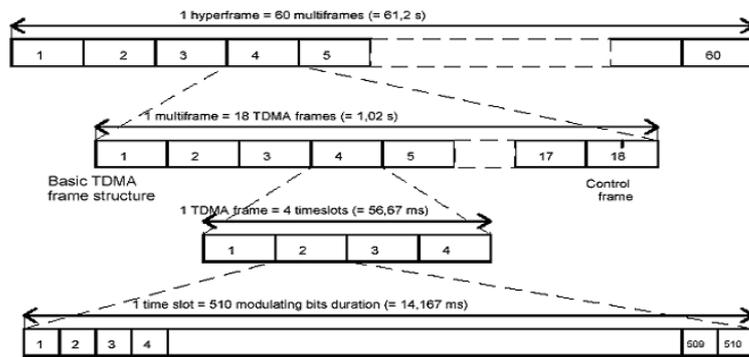
Tingkat transmisi data dan tingkat error protection menggunakan modulasi *Differential Quaternary Phase Shift Keying* (DQPSK). Dengan menggunakan teknologi *Time Division Multiple Access* (TDMA) dengan 4 kanal pengguna yang disisipkan ke dalam satu *carrier* dengan 25 KHz *spacing carrier*, TETRA mencapai efisiensi yang sangat baik dari spektrum frekuensi dan penghematan biaya, karena hanya satu unit radio yang dibutuhkan untuk setiap 4 kanal pengguna. Transfer *data rate* tinggi hingga 28.8 Kbps diimplementasikan dengan memesan 4 kanal untuk koneksi pengguna yang sama. TETRA menyediakan *call setup* yang cepat yang krusial untuk keselamatan publik dan layanan darurat. TETRA mendukung panggilan komunikasi grup *semi-duplex* dan *full-duplex*. Struktur *frame* TETRA memiliki 4 *time slot* tiap *frame* TDMA [2].

B. Peer-to-peer Diagram TETRA

Arsitektur jaringan TETRA memiliki enam komponen sistem utama, yaitu jaringan individu TETRA (termasuk *Base Station* (BS), *Local Switch Center* (LSC) *Main Switch Center* (MSC)), *Mobile Station* (MS), *gateway*, dan unit manajemen jaringan yang menyediakan pelayanan, manajemen trafik, monitoring jaringan, manajemen konfigurasi, manajemen kesalahan, manajemen pelanggan, dan perencanaan).



Gambar 2. Arsitektur TETRA



Gambar 3. Struktur Frame TDMA TETRA

C. Karakteristik TETRA

Karakteristik yang ada di TETRA dapat dilihat pada Tabel I.

III. DESAIN TOPOLOGI JARINGAN

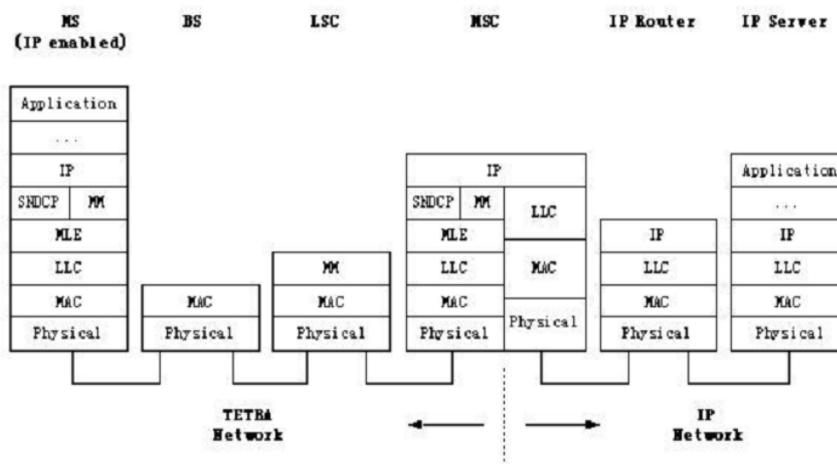
Pada bagian ini akan dibagi menjadi 2 desain topologi jaringan yaitu pada TETRA KRL Jabodetabek dan TETRA Daop 8 Surabaya.

A. TETRA KRL

Desain topologi jaringan yang dibuat akan disesuaikan dengan kondisi kereta api di daerah Jakarta – Bogor – Depok – Tangerang — Bekasi (Jabodetabek), seperti peletakan Mobile Station (MS) dalam hal ini terminal yang disediakan di kereta, Base Transceive Station (BTS), Mobile Switching Centre (MSC), dan Talkgroup. Semua komponen tersebut akan terintegrasi dalam 1 wilayah domain radio wireless yaitu TetraKRL_wdomain. Dalam TETRA KRL ini akan dibagi menjadi 2 topologi lagi yaitu 40 node dan 20 node.

B. TETRA Daop 8

Desain topologi jaringan yang dibuat akan disesuaikan dengan kondisi kereta api di daerah Lamongan – Surabaya – Kertosono – Blitar - Malang, seperti peletakan Mobile Station (MS) dalam hal ini terminal yang disediakan di kereta, Base Transceive Station (BTS), Mobile Switching Centre (MSC), dan Talkgroup. Semua komponen tersebut akan terintegrasi dalam 1 wilayah



Gambar 4. Peer to peer untuk interworking TETRA dengan internet

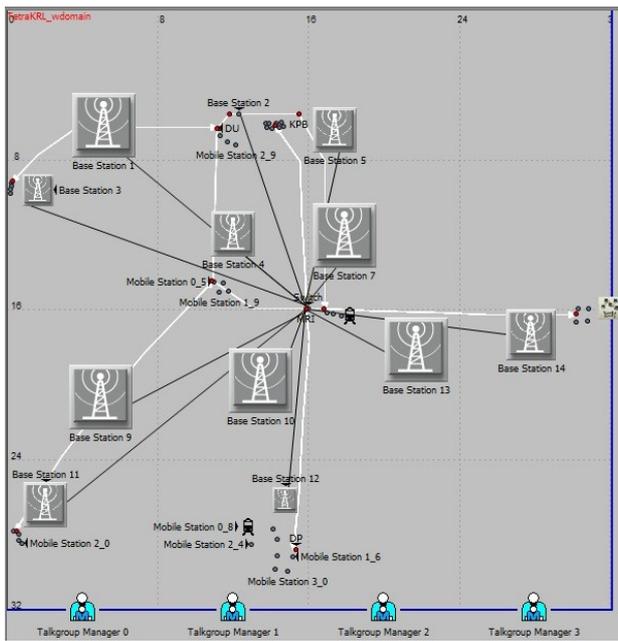
domain radio *wireless* yaitu TetraDaop8_wdomain. Dalam TETRA Daop 8 ini akan dibagi menjadi 2 topologi lagi yaitu 40 node dan 20 node.

IV. SKENARIO PENGUJIAN

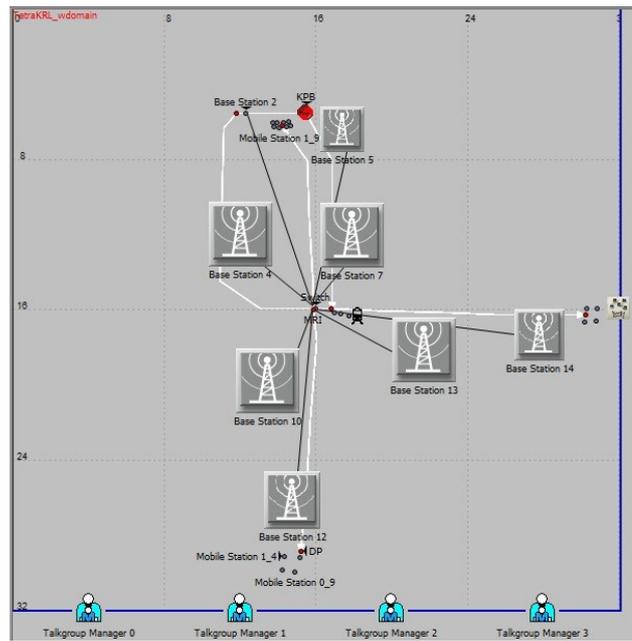
Skenario yang dijalankan pada simulasi ini dibagi menjadi 2 skenario utama, yaitu skenario TETRA KRL dan skenario TETRA Daop 8. Durasi keseluruhan simulasi yang dilakukan tergantung pada kecepatan kereta yang sama dengan akumulasi waktu pergerakan kereta dari awal hingga tujuan. Karena semua simulasi waktu berhenti semua kereta rata-rata di atas 3 jam, maka diberikan waktu simulasi selama 3 jam.

TABEL I. KARAKTERISTIK TETRA

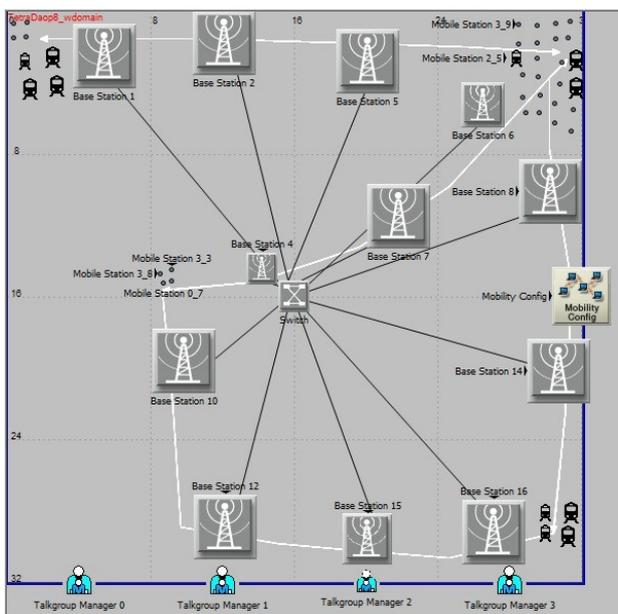
Frequency allocation	
<i>Bandwidth (Emergency services)</i>	380 – 400 MHz
<i>Up-link, Down-link and duplex spacing</i>	2×5 MHz with duplex spacing of 10 MHz
<i>Channel spacing</i>	25 kHz
Access	
<i>V+D</i>	FDMA/TDMA/FDD: 4 physical channels per carrier
<i>PDO</i>	Down-link→STM (Statistical Multiplexing) Up-link→STMA (Statistical Multiple Access)
<i>DMO</i>	FDMA/TDMA/TDD: 1 communication per carrier
Radio transmission and reception	
<i>Modulation rate</i>	36 kbit/s
<i>Modulation scheme</i>	$\pi/4$ -DQPSK
<i>Transmission filter</i>	Square root raised cosine filter with roll-off factor equal to 0.35
<i>Transmitter power classes</i>	Mobile unit → 1W 30W (5 dBm steps) Base station → 0.6W 40W (2 dBm steps)
<i>Maximum power level on the adjacent channels</i>	-60 dBc @ 25 kHz -70 dBc @ 50 kHz -70 dBc @ 75 kHz
<i>Receiver classes</i>	Class A → AWGN, TU50, HT200; Class B → AWGN, TU50; Class E → AWGN, TU50, EQ200, Mobile units only
<i>Dynamic reference sensitivity</i>	Mobile unit → -103 dBm Base station → -106 dBm
<i>Static reference sensitivity</i>	Mobile unit → -112 dBm Base station → -115 dBm
<i>Carrier-to-interference ratio reference</i>	Co-channel → $C/I_n = 19$ dB Adjacent channel → $C/I_n = -45$ dB
Maximum transmission data rate	
<i>Unprotected data</i>	28.8 kbit/s
<i>Protected data</i>	19.2 kbit/s
Speech encoder characteristics	
<i>Net bit rate</i>	4.567 kbit/s
<i>Gross bit rate</i>	7.2 kbit/s
<i>Speech frame length</i>	30 ms
<i>Protection</i>	3 protection levels for 3 bit classes



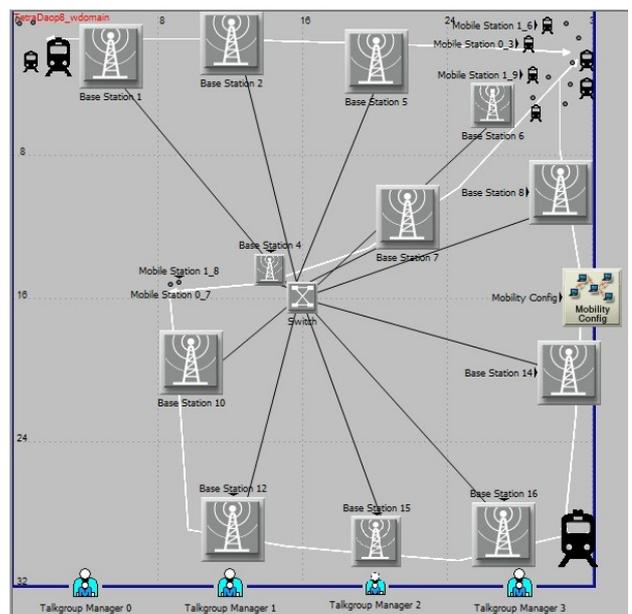
Gambar 5. Topologi jaringan TetraKRL 40 node



Gambar 6. Topologi jaringan TetraKRL 20 node



Gambar 7. Topologi jaringan TetraDaop8 40 node



Gambar 8. Topologi jaringan TetraDaop8 20 node

A. Skenario TETRA KRL

Skenario yang akan dijalankan pada simulasi ini secara umum akan merepresentasikan perjalanan kereta api dari stasiun awal ke stasiun akhir dengan masing-masing *trajectory*-nya. *Trajectory* disimpan di dalam tabel yang berisi letak koordinat (posisi x dan y), jarak, ketinggian, waktu yang ditempuh, kecepatan, waktu tunggu, dan akumulasi waktu. Simulasi Tetra KRL ini dimulai pada jam 05.30 yang didefinisikan sebagai *wait time* awal 0 menit. Jika kereta tersebut berangkat jam 06.12 dari stasiun awal, maka *wait time awal* 42 menit. Untuk *wait time* di setiap stasiun diset menjadi 1 menit yang diasumsikan untuk menurunkan dan menaikkan penumpang.

Pada Tetra KRL ini akan dijalankan sebanyak 4 skenario yaitu skenario 40 Node 50 kmph,

skenario 40 Node 100 kmph, skenario 20 Node 50 kmph, dan skenario 20 Node 100 kmph.

B. Skenario TETRA Daop 8

Skenario yang akan dijalankan pada simulasi ini secara umum akan merepresentasikan perjalanan kereta api dari stasiun awal ke stasiun akhir dengan masing-masing *trajectory*-nya. *Trajectory* disimpan di dalam tabel yang berisi letak koordinat (posisi x dan y), jarak, ketinggian, waktu yang ditempuh, kecepatan, waktu tunggu, dan akumulasi waktu. Simulasi Tetra Daop 8 ini dimulai pada jam 05.30 yang didefinisikan sebagai *wait time* awal 0 menit. Jika kereta tersebut berangkat jam 06.45 dari stasiun awal, maka *wait time* awal 75 menit. Untuk *wait time* di setiap stasiun diset menjadi 3 menit untuk menurunkan dan menaikkan penumpang.

Pada Tetra Daop 8 ini akan dijalankan sebanyak 4 skenario yaitu skenario 40 Node 50 kmph, skenario 40 Node 100 kmph, skenario 20 Node 50 kmph, dan skenario 20 Node 100 kmph.

V. HASIL UJI COBA DAN PEMBAHASAN

Tabel II dan Tabel III merupakan hasil rekapitulasi *throughput* dari BTS terhadap MS dan Switch untuk Tetra KRL. Sedangkan Tabel IV dan Tabel V merupakan hasil rekapitulasi *throughput* dari BTS terhadap MS dan Switch untuk Tetra Daop 8. Tabel IV merupakan hasil rekapitulasi *average delay time* dan *calls delayed* yang ada di Tetra KRL dan Tetra Daop 8.

A. Pembahasan Hasil Uji Coba TETRA KRL

SNR pada *mobile node* yang ada pada Tetra KRL memiliki tingkat ketahanan sinyal terhadap gangguan sangat bagus, rata-rata di atas 30 dB. Untuk *mobile node* yang memiliki rata-rata SNR tertinggi yaitu MS 0_9 pada skenario 40 node. Untuk skenario 20 node SNR tertinggi pada MS 1_0 dan 0_5. Untuk *throughput* pada skenario 40 node memiliki rata-rata BTS dari TKG dan BTS ke TKG yang stabil, tertinggi pada BTS 2 dikarenakan penempatan BTS yang mendekati stasiun awal dan stasiun akhir yang menimbulkan trafik yang padat di area itu. Untuk skenario 20 node yang memiliki *throughput* tertinggi pada BTS 12. Untuk *delay* pada kecepatan 100 kmph lebih kecil daripada 50 kmph baik dengan 40 node atau 20 node. Rata-rata jarak keberangkatan antara kereta satu dengan yang lain pada KRL ini sangat pendek, antara 5-15 menit yang akan mempengaruhi juga pada waktu simulasi yang ditempuh.

B. Pembahasan Hasil Uji Coba TETRA Daop 8

SNR pada *mobile node* yang ada pada Tetra KRL memiliki tingkat ketahanan sinyal terhadap gangguan sangat bagus, rata-rata di atas 30 dB. Untuk *mobile node* yang memiliki rata-rata SNR tertinggi yaitu MS 0_1 dan 3_1 pada skenario 40 node. Untuk skenario 20 node SNR tertinggi pada MS 0_1 dan 0_5. Untuk *throughput* pada skenario 40 node memiliki rata-rata BTS dari TKG dan BTS ke TKG yang stabil, tertinggi pada BTS 6 dikarenakan penempatan BTS yang mendekati stasiun awal dan stasiun akhir yang menimbulkan trafik yang padat di area itu. Untuk skenario 20 node yang memiliki *throughput* tertinggi pada BTS 1. Untuk *delay* pada kecepatan 100 kmph lebih kecil daripada 50 kmph baik dengan 40 node atau 20 node. Rata-rata jarak keberangkatan antara kereta satu dengan yang lain pada Daop 8 ini sedikit lama, antara 15-30 menit yang akan mempengaruhi juga pada waktu simulasi yang ditempuh.

C. Pembahasan Hasil Uji Coba Secara Keseluruhan

Pada simulasi Tetra secara keseluruhan, terdapat perbedaan yang sangat signifikan ketika menggunakan skenario 40 node dengan 20 node. Perbedaan itu adalah pada saat 40 node, perhitungan di setiap parameter berisi maksimal untuk semua slot Talkgroup sebanyak 4. Dan pada saat 20 node perhitungan di setiap parameter hanya diisi oleh 2 Talkgroup saja. Hal ini disebabkan adanya pengurangan jumlah node yang disediakan sama dengan pengurangan jumlah Talkgroup yang hanya dapat menampung 10 node per Talkgroup. Akibatnya ketika Talkgroup berkurang,

TABEL II. THROUGHPUT BTS KRL TERHADAP MS TKG (BPS)

KRL Uplink 40 node 50 kmph			KRL Downlink 40 node 50 kmph		
Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
14,789.96	9,642.51	11,840.44	4,690.98	9,937.42	12,108.73
KRL Uplink 40 node 100 kmph			KRL Downlink 40 node 100 kmph		
Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
18,308.18	10,713.10	13,504.45	4,786.39	10,308.70	13,283.21
KRL Uplink 20 node 50 kmph			KRL Downlink 20 node 50 kmph		
Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
4,828.51	5,547.36	5,198.40	4,687.31	8,255.34	7,820.95
KRL Uplink 20 node 100 kmph			KRL Downlink 20 node 100 kmph		
Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
6,381.67	4,494.48	4,467.47	4,660.50	8,203.46	8,124.88

TABEL III. THROUGHPUT BTS KRL TERHADAP SWITCH (BPS)

KRL Uplink 40 node 50 kmph			KRL Downlink 40 node 50 kmph		
Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
13,931.24	18,109.84	16,380.36	4,943.05	5,691.75	5,341.81
KRL Uplink 40 node 100 kmph			KRL Downlink 40 node 100 kmph		
Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
15,366.77	17,857.28	17,300.43	5,339.89	6,049.81	6,981.61
KRL Uplink 20 node 50 kmph			KRL Downlink 20 node 50 kmph		
Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
8,547.33	8,749.30	9,074.43	2,279.33	4,284.62	4,093.75
KRL Uplink 20 node 100 kmph			KRL Downlink 20 node 100 kmph		
Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
7,887.01	8,991.74	8,828.50	2,638.53	2,895.03	2,871.62

TABEL IV. THROUGHPUT BTS DAOP 8 TERHADAP MS TKG (BPS)

Daop 8 Uplink 40 node 50 kmph			Daop 8 Downlink 40 node 50 kmph		
Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
23,785.09	16,189.50	13,872.39	4,372.33	7,672.75	10,144.10
KRL Uplink 40 node 100 kmph			KRL Downlink 40 node 100 kmph		
Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
25,165.39	16,320.38	14,506.77	4,601.39	8,433.85	9,032.89
Daop 8 Uplink 20 node 50 kmph			Daop 8 Downlink 20 node 50 kmph		
Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
8,302.62	6,327.59	7,038.46	3,153.07	6,740.49	6,705.52
Daop 8 Uplink 20 node 100 kmph			Daop 8 Downlink 20 node 100 kmph		
Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
9,132.17	6,193.15	6,969.52	4,039.54	5,746.91	5,721.55

TABEL V. THROUGHPUT BTS DAOP 8 TERHADAP SWITCH (BPS)

Daop 8 Uplink 40 node 50 kmph			Daop 8 Downlink 40 node 50 kmph		
Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
13,468.77	16,600.80	17,643.41	6,732.8	8,830.64	8,455.69
Daop 8 Uplink 40 node 100 kmph			Daop 8 Downlink 40 node 100 kmph		
Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
13,501.14	17,749.75	17,511.57	7,110.09	8,895.36	8,537.55
Daop 8 Uplink 20 node 50 kmph			Daop 8 Downlink 20 node 50 kmph		
Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
8,396.02	9,390.75	9,376.73	4,277.18	4,325.76	5,235.19
Daop 8 Uplink 20 node 100 kmph			Daop 8 Downlink 20 node 100 kmph		
Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
8,362.42	8,856.79	8,421.81	4,590.43	4,497.28	4,857.85

TABEL VI. AVERAGE DELAY TIME DAN CALLS DELAYED DI KRL DAN DAOP8

	KRL 40 node 50 kmph			Daop 8 40 node 50 kmph		
	Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
Average Delay Time (sec)	46.58	31.59	11	65.27	26.07	22.20
Calls Delayed (%)	22.70	1.87	0.20	24.99	10.88	0.38
KRL 40 node 100 kmph			KRL 40 node 100 kmph			
	Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
Average Delay Time (sec)	61.91	18.41	9	66.41	18.24	7.50
Calls Delayed (%)	20.93	5.79	0.48	25.13	9.84	9.08
KRL 20 node 50 kmph			KRL 20 node 50 kmph			
	Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
Average Delay Time (sec)	32.19	-	-	29.49	-	-
Calls Delayed (%)	7.49	-	-	13.61	-	-
KRL 20 node 100 kmph			KRL 20 node 100 kmph			
	Ch 2	Ch 3	Ch 4	Ch 2	Ch 3	Ch 4
Average Delay Time (sec)	41.20	-	-	24.72	-	-
Calls Delayed (%)	5.26	-	-	13.20	-	-

parameter-parameter seperti SNR dan throughput tidak dapat dimaksimalkan untuk 4 slot yang diberikan. Khusus untuk throughput, perlu diingat bahwa dalam *bandwidth carrier* 25 kHz, dapat dimaksimalkan hingga total 115.2 kbps untuk 4 slot *channel* TDMA yang tersedia. Dengan tiap *channel* memiliki slot untuk trafik *channel* sebesar 28.8 kbps dengan memakai *channel bundling*. Jadi setiap *user* dapat dipecah-pecah menghasilkan *throughput* maksimal 7,2 kbps.

Dari segi topologi jaringan yang dibuat akan menimbulkan dampak kualitas jaringan yang berbeda-beda, seperti penempatan kereta terhadap BTS pada stasiun awal dan stasiun akhir. Jika kereta itu berada banyak di stasiun awal atau stasiun akhir yang dilingkupi oleh area BTS darinya, maka area BTS tersebut akan menghasilkan *throughput* yang lebih tinggi daripada yang BTS yang ada di lintasan.

Dari segi penggunaan *channel* yang terdiri dari 4 *channel* pada slot TDMA yang disediakan, hanya *channel* pertama yang tidak dapat menghasilkan keluaran yang signifikan terhadap parameter kualitas jaringan yang akan diteliti. Selama penggunaan *channel* dan aktif untuk melakukan panggilan, sinyal *burst* akan ditransmisikan dalam 1 TDMA slot. Akibatnya, setiap *channel* akan memiliki karakteristik tersendiri.

Total *throughput* paling tinggi yang mendekati maksimal 115,2 kbps adalah pada skenario 40 node 100 kmph baik untuk KRL dan Daop 8. Untuk *uplink* BTS KRL terhadap MS 18.308,18 +

$10.713,10 + 13.504,45 = 42.525,73$ bps, downlink BTS KRL terhadap MS $4.786,39 + 10.308,70 + 13.283,21 = 28.378,30$ bps. Uplink BTS KRL terhadap Switch $15.366,77 + 17.857,28 + 17.300,43 = 50.524,48$ bps, downlink BTS KRL terhadap Switch $5.339,89 + 6.049,81 + 6.981,61 = 18.371,31$ bps. Sedangkan untuk uplink BTS Daop 8 terhadap MS $25.165,39 + 16.320,38 + 14.506,77 = 55.992,54$ bps, downlink BTS Daop 8 terhadap MS $4.601,39 + 8.433,85 + 9.032,89 = 22.068,13$ bps. Uplink BTS Daop 8 terhadap Switch $13.501,14 + 17.749,75 + 17.511,57 = 48.762,46$ bps, downlink BTS Daop 8 terhadap Switch $7.110,09 + 8.895,36 + 8.537,55 = 24.543,00$ bps.

Delay yang terjadi di *switch* merupakan akumulasi *delay* yang terjadi pada seluruh BTS yang terhubung. Dapat dilihat bahwa *delay* rata-rata dan persentase *delay* yang ada pada skenario KRL dan Daop 8 pada 40 node menunjukkan bahwa pada *channel 2* lebih besar daripada *channel* yang lain. Dimana *delay* rata-rata berkisar antara 46,58 detik sampai 66,41 detik dengan persentase *delay* berkisar antara 20,93% sampai 25,13% dalam satu waktu simulasi.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam keseluruhan simulasi yang dijalankan, terdapat 3 kunci utama yang mempengaruhi kualitas jaringan komunikasi kereta yaitu kecepatan kereta, banyaknya jumlah kereta, dan topologi penempatan BTS. Penempatan BTS ini diletakkan di dekat *trajectory* atau jalur kereta agar tidak kehilangan sinyal ketika transmisi asalkan tetap berada pada *cell radius* yang diberikan dan mendapatkan hasil yang maksimal.

Pemecahan trafik pada *channel* akan memberikan hasil yang berbeda-beda pada tiap transmisi sinyal disebabkan adanya *burst* sinyal transmisi, namun akan memberikan keuntungan dalam hal efisiensi *throughput* yang dicapai.

Pada simulasi skenario 40 node 100 kmph baik KRL maupun Daop 8 memiliki *throughput* tertinggi daripada skenario yang lainnya. Kecepatan kereta yang semakin tinggi dan jumlah node yang semakin banyak dapat memberikan hasil *throughput* yang semakin tinggi pula.

Untuk SNR didapatkan hasil yang baik yaitu rata-rata di atas 30dB untuk media transmisi dalam simulasi ini. *Average delay time* dan *calls delayed* yang terjadi pada Switch merupakan akumulasi *delay* dari *delay* yang diberikan dari keseluruhan BTS yang bertanggung jawab terhadap Switch.

Diharapkan agar PT KAI sebagai satu-satunya operator pelayanan kereta api di Indonesia dapat mempertimbangkan sistem komunikasi Tetra ini agar benar-benar diaplikasikan di Indonesia dalam bentuk pengadaan komponen Tetra, tidak hanya disimulasikan melalui perangkat lunak. Kemudian diharapkan pada penelitian selanjutnya tidak sebatas transmisi sinyal suara, tapi juga video berbasis Tetra, agar dapat menambah fitur-fitur sistem komunikasi yang ada pada umumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shafiullah, G.M., Gyasi-Agyei, A., Wolfs, P., 2007. "Survey of Wireless Communications Applications in the Railway Industry" IEEE The 2nd International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications.
- [2] Ruesche, Simon, F., Steuer, J., Jobmann, K., 2008. "Increase of Efficiency in Wireless Train Control Systems (ETCS Level 2) by the Use of Actual Packet-Oriented Transmission Concepts" Proceedings of the 2008 IEEE/ASME Joint Rail Conference.
- [3] Wang, Y.; Chong, Peter H J.; Qiu, L.; Chen, L.; Seck, Lew C.; Lee, E.; Cheung, D., 2006. "Research and Software Development of TETRA & TETRAPOL Networks Models for IP-Based Data Services Using OPNET". Proceedings-OPNET.
- [4] Aguado, M., Jacob, E., Berbineau, M., Astorga, J., Toledo, N., 2009. "Simulation Framework for Performance Evaluation of Broadband Communication Architectures for Next Generation Railway Communication Services" IEEE.
- [5] Abed, Sajed K. 2010. "European Rail Traffic Management System – An Overview". 1st International Conference on Energy, Power, and Control University of Basrah Iraq.
- [6] Wenlong, X., Haige, X., Hongjie, Yang., 2002. "TETRA Protocol Interfaces Features and Potential Applications in Railway". Proceedings of IEEE TENCON.
- [7] Garstenaue, J., Pocuca, S., 2011. "The Future of Railway Communications" Proceedings of MIPRO.
- [8] Stavroulakis, P. 2007. Terrestrial Trunked Radio – Tetra A Global Security Tool. Springer.