

# Degradasi Jaringan TD-LTE 2.300 – 2.400 MHz Akibat Interferens Alur-Waktu Silang

Muhammad Suryanegara<sup>1</sup>, Reyfista Pangestu<sup>2</sup>

**Abstract** — Indonesia has set the frequency band 2,300-2,400 MHz (3GPP band 40) as one of the frequency allocations for the TD-LTE mobile network. Consequently, the implementation of TD-LTE should pay attention to the phenomenon of Crossed Timeslot Interference (CTI) which can occur as a result of the operators' uplink-downlink configurations. A work simulating the impact of CTI interference that occurs between two network operators having an adjacent spectrum allocation is developed. Network performance indicator is measured through the value of Bit Error Rate (BER) and throughput value of Physical Downlink Shared Channel (PDSCH). The results show that the CTI has caused a degeneration of BER leading to a reduction of throughput value of PDSCH by 15.29%. This work is expected to be a reference for Indonesian network operators to pay more attention to the phenomenon of CTI which could potentially cause degradation of TD-LTE network performance.

**Intisari**— Indonesia telah menetapkan pita frekuensi 2.300 – 2.400 MHz (3GPP band 40) sebagai salah satu alokasi frekuensi untuk implementasi jaringan *Long Term Evolution* (LTE) mode TDD, atau lazim disebut TD-LTE. Konsekuensinya, penyelenggaraan jaringan berbasis teknologi TD-LTE harus memerhatikan fenomena interferens alur-waktu silang atau *Crossed Timeslot Interference* (CTI). Fenomena tersebut terjadi sebagai akibat pemilihan konfigurasi *uplink-downlink* yang berbeda oleh dua operator penyelenggara jaringan. Makalah ini mengembangkan simulasi interferens alur waktu silang yang terjadi antara dua operator penyelenggara jaringan TD-LTE yang memiliki alokasi spektrum berdampingan (*adjacent spectrum allocation*). Unjuk kerja jaringan diukur oleh besaran nilai *Bit Error Rate* (BER) dan besaran nilai kecepatan data atau lantasan (*throughput*) dari *Physical Downlink Shared Channel* (PDSCH). Hasil penelitian menunjukkan bahwa CTI mengakibatkan memburuknya nilai BER yang pada akhirnya menurunkan unjuk kerja jaringan, dengan nilai lantasan PDSCH turun sebesar 15,29 %. Makalah ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi operator penyelenggara TD-LTE untuk lebih memerhatikan CTI yang dapat menyebabkan degradasi unjuk kerja jaringan di Indonesia.

**Kata Kunci**— TD-LTE, CTI, interferens, interferens alur-waktu silang, Indonesia.

## I. PENDAHULUAN

*Long Term Evolution* (LTE) diperkenalkan oleh *Third Generation Partnership Project* (3GPP) untuk memenuhi

<sup>1</sup> Staf akademik, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, FTUI Kampus UI Depok 16424, INDONESIA, (telp: 0217270078; fax: 0217270077; e-mail: m.suryanegara@ui.ac.id, suryanegara@gmail.com)

<sup>2</sup> Mahasiswa, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, FTUI Kampus UI Depok 16424, (e-mail: reyfista.pangestu@ui.ac.id)

kebutuhan layanan data berkecepatan tinggi [1]. Pada awal peluncurannya, LTE menyediakan kecepatan data puncak (*peak data rate*) sebesar 300 Mbps dan interval waktu (*latency*) kurang dari 5 ms [2]. LTE mendukung kedua mode *frequency-division-duplex* (FDD) dan *time-division-duplex* (TDD). LTE mode FDD menggunakan sepasang spektrum untuk menjalankan operasi pengiriman data dari terminal pengguna atau *User Equipment* (UE) ke menara *eNode-B*, atau lazim disebut *uplink*, dan operasi pengiriman data dari menara *eNode-B* ke UE, atau lazim disebut *downlink*. Sementara itu, LTE mode TDD (TD-LTE) menggunakan sebuah spektrum untuk menjalankan operasi *uplink* dan operasi *downlink*.

Pembagian *subframe* yang digunakan oleh operator penyelenggara jaringan untuk proses *uplink* dan *downlink* terdiri atas tujuh jenis pilihan konfigurasi yang didefinisikan oleh 3GPP. Setiap operator penyelenggara jaringan TD-LTE dapat memilih konfigurasi *uplink-downlink* sesuai dengan kebutuhan operasional dan bisnis mereka. Dengan demikian, dalam suatu pita alokasi frekuensi TD-LTE dapat beroperasi beberapa operator penyelenggara TD-LTE dengan konfigurasi *uplink-downlink* yang berbeda-beda. Untuk dua operator dengan alokasi spektrum berdampingan (*adjacent spectrum allocation*), perbedaan konfigurasi tersebut dapat menimbulkan interferens pada *subframe* yang memiliki mode operasi berlawanan, yaitu antara satu *subframe* yang melakukan operasi *uplink* dan *subframe* lain yang melakukan operasi *downlink*. Fenomena interferens tersebut dikenal dengan istilah interferens alur-waktu silang atau lazim disebut *crossed timeslot interference* (CTI) [3]-[5].

Indonesia telah menetapkan pita frekuensi 2.300 – 2.400 MHz untuk alokasi frekuensi penggelaran jaringan oleh beberapa operator TD-LTE di Indonesia. Oleh karena itu, fenomena CTI menjadi potensi permasalahan yang akan muncul karena dapat menurunkan kualitas unjuk kerja jaringan. Salah satu penelitian terkait implementasi TD-LTE di Indonesia adalah perancangan *power amplifier Radio Frequency* 4G untuk operator jaringan yang bekerja pada frekuensi 2,3 GHz [6].

Makalah ini memaparkan pengembangan simulasi CTI antara dua operator penyelenggara jaringan TD-LTE di Indonesia untuk menganalisis dampak CTI tersebut pada unjuk kerja jaringan di pita frekuensi 2.300 – 2.400 MHz. Parameter unjuk kerja jaringan yang dianalisis adalah nilai *Bit Error Rate* (BER) dan nilai kecepatan data atau lantasan (*throughput*) *Physical Downlink Shared Channel* (PDSCH).

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya [3]-[5], makalah ini memfokuskan pada simulasi untuk mengetahui seberapa besar degradasi unjuk kerja jaringan pada penyelenggaraan jaringan oleh operator TD-LTE di Indonesia. Data-data yang dipaparkan pada makalah ini diperoleh dari

simulasi berbasis model dengan asumsi interferens deterministik. Analisis dilakukan dengan membandingkan unjuk kerja jaringan antara dua skenario yaitu “tanpa CTI” dan “dengan CTI”.

Pada skenario pertama, disimulasikan sebuah UE yang melakukan operasi *downlink* melalui PDSCH pada kondisi tidak terjadi CTI. Pada skenario kedua, ditambahkan dua buah UE yang berasal dari penyelenggara jaringan yang berbeda dan memiliki konfigurasi *uplink-downlink* yang berbeda. Dua UE tersebut bertindak sebagai penginterferens terhadap UE pada skenario pertama.

Makalah ini disusun menjadi lima bagian, dengan Bagian I merupakan Pendahuluan. Bagian II memaparkan teori dasar interferens pada jaringan TD-LTE. Bagian III berisi model simulasi yang dikembangkan yang terdiri atas dua skenario, yaitu “Skenario #1: Simulasi tanpa CTI” dan “Skenario #2: Simulasi dengan CTI”. Bagian IV memaparkan hasil simulasi dan analisis. Kesimpulan disampaikan pada Bagian V. Manfaat hasil penelitian ini adalah menunjukkan besaran rata-rata degradasi unjuk kerja jaringan sebagai konsekuensi teknis penyelenggaraan jaringan TD-LTE di Indonesia

II. PENGERTIAN INTERFERENS PADA JARINGAN TD-LTE

3GPP telah mendefinisikan tujuh konfigurasi mode operasi *uplink-downlink* pada *frame* data TD-LTE sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel I. Setiap operator penyelenggara jaringan dapat memiliki pilihan konfigurasi *uplink-downlink* tertentu sesuai dengan orientasi pelayanan bisnis mereka. Misalnya, konfigurasi #2 dapat dipilih oleh operator yang mengutamakan pelayanan operasi *downlink*, karena memiliki *subframe downlink* yang lebih banyak. Sebaliknya, konfigurasi #6 dapat dipilih oleh operator yang mengutamakan pelayanan operasi *uplink* karena memiliki *subframe uplink* yang lebih banyak. Dengan demikian, antara satu operator dan lainnya yang memiliki alokasi spektrum berdampingan bisa saja menggunakan konfigurasi yang sama ataupun berbeda. Operator tertentu juga mungkin mempertimbangkan untuk menggunakan dua konfigurasi *uplink-downlink* berbeda dalam jaringan mereka, satu konfigurasi untuk daerah urban dan satu untuk daerah rural.

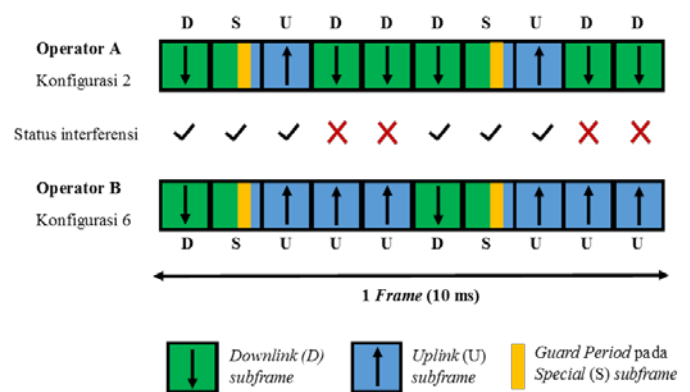
TABEL I  
KONFIGURASI UPLINK-DOWNLINK PADA TD-LTE [7]  
(SF= SUBFRAME, U=UPLINK, D=DOWNLINK, S=SPECIAL SUBFRAME)

Konfigurasi	Periode frame	Nomor SF (subframe)									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
#0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
#1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
#2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
#3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
#4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
#5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
#6	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	U

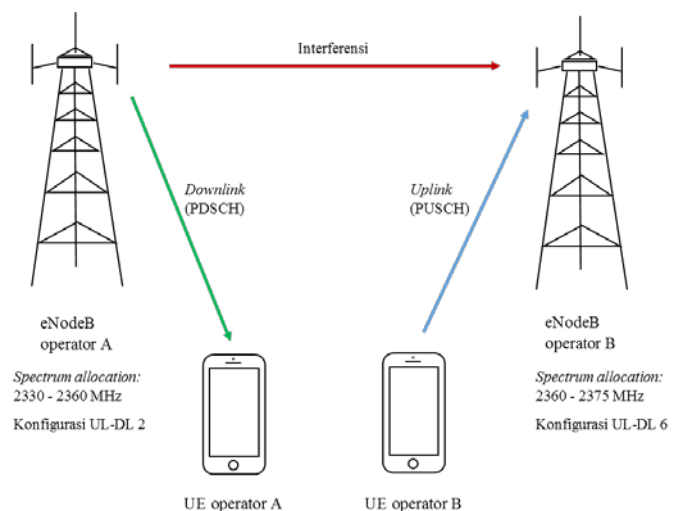
Saat dua operator TD-LTE dengan alokasi spektrum berdampingan menggunakan konfigurasi *uplink-downlink* yang berbeda, CTI dapat terjadi. Sebagaimana ditunjukkan Gbr. 1, terdapat operator A yang menggunakan konfigurasi #2 dan operator B yang menggunakan konfigurasi #6. Masalah

interferens akan muncul pada empat *subframe* yang diberi tanda X, yaitu saat mode operasi berlawanan antara operator A yang melakukan operasi *downlink* dan operator B yang melakukan operasi *uplink*. Terdapat dua tipe CTI yang dapat terjadi, yaitu [5]:

1. Interferens antar menara pemancar (*eNodeB* ke *eNodeB*), yaitu saat pemancar proses *downlink* dari *eNodeB* operator A menginterferens penerima proses *uplink* menuju *eNodeB* operator B. Gbr. 2 mengilustrasikan kondisi interferens *eNodeB* ke *eNodeB*.
2. Interferens antar terminal pengguna (UE ke UE), yaitu saat pemancar proses *uplink* operator B menginterferens penerima *downlink* operator A. Gbr. 3 mengilustrasikan kondisi interferens UE ke UE. Kondisi ini menyebabkan degradasi unjuk kerja operasi *downlink* operator A. Interferens ini tidak dapat dihindari dengan menggunakan filter khusus, karena filter tersebut tidak dapat dipasang pada sisi pemancar atau sisi penerima UE.



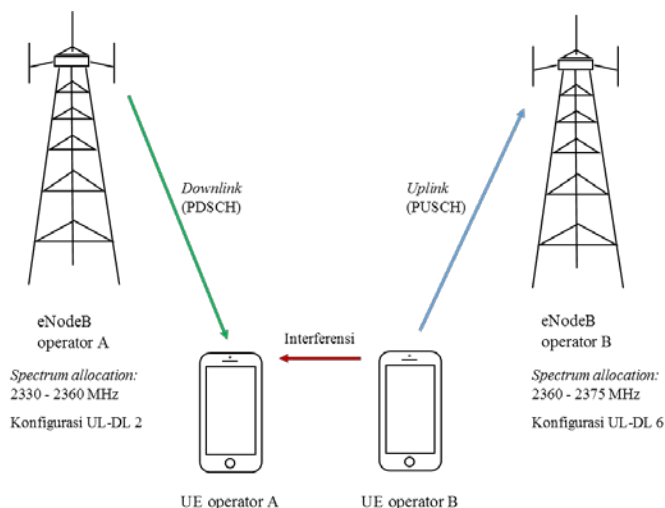
Gbr. 1 Kondisi interferens pada empat *subframe* akibat perbedaan konfigurasi *uplink-downlink* [5].



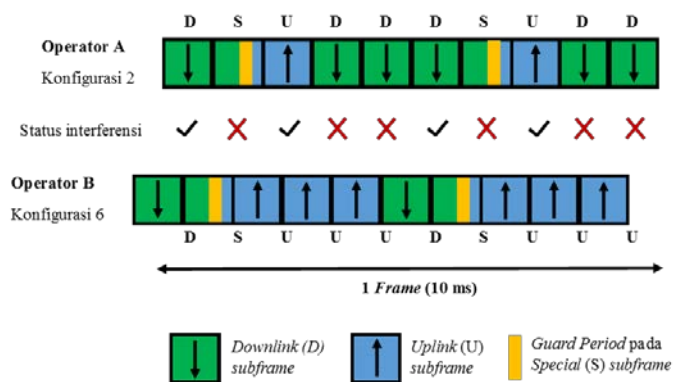
Gbr. 2 Kondisi interferens antar menara pemancar (*eNodeB* ke *eNodeB*) [5].

Selain konfigurasi *uplink-downlink* yang sama, kesejajaran waktu proses (*timing alignment*) dari dua operator penyelenggara yang berada pada alokasi spektrum berdampingan juga diperlukan. Ketidaksejajaran waktu proses

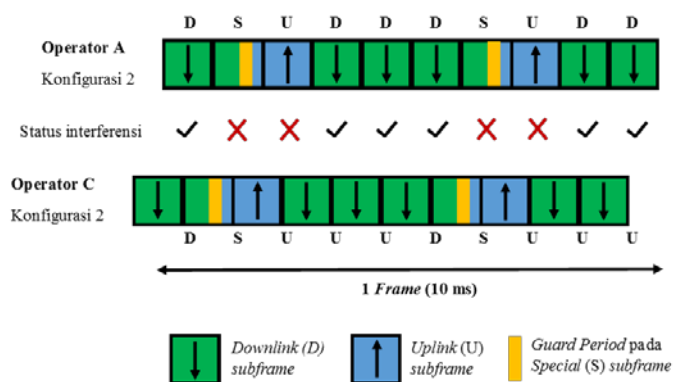
(*timing misalignment*) akan menghasilkan ketidaksejajaran *frame* (*frame misalignment*). Gbr. 4 mengilustrasikan interferens pada operator A yang menggunakan konfigurasi #2 dan operator B yang menggunakan konfigurasi #6. Pada keadaan ketidaksejajaran *frame*, enam *subframe* operator A mengalami interferens yang berasal dari operator B.



Gbr. 3 Kondisi interferens antar terminal pengguna (UE ke UE) [5].



Gbr. 4 Interferens akibat ketidaksejajaran *frame* pada konfigurasi *uplink-downlink* yang berbeda (dikembangkan dari Sumber: [5]).



Gbr. 5 Interferens akibat ketidaksejajaran *frame* pada konfigurasi *uplink-downlink* yang sama (dikembangkan dari Sumber: [5]).

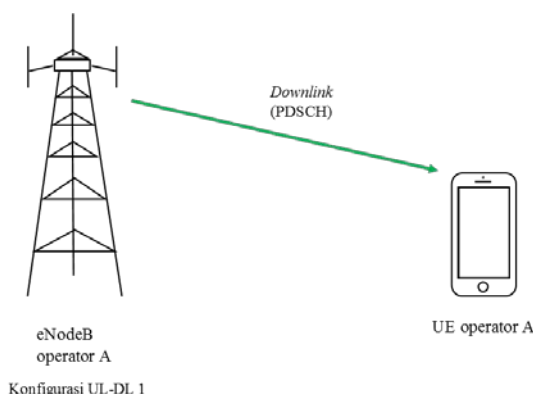
Masalah ketidaksejajaran *frame* ini juga dapat menimbulkan interferens bahkan pada kedua operator dengan alokasi

spektrum berdampingan yang menggunakan konfigurasi yang sama. Gbr. 5 mengilustrasikan interferens akibat ketidaksejajaran *frame* antara operator A dan operator C yang sama-sama menggunakan konfigurasi #2. Gbr. 5 menunjukkan bahwa meskipun memiliki konfigurasi *uplink-downlink* yang sama, empat *subframe* dari setiap *frame* operator A mengalami interferens dari operator C.

III. SIMULASI YANG DIKEMBANGKAN

A. Skenario #1 : Simulasi Jaringan TD-LTE Tanpa CTI

Pada skenario #1, sebuah UE operator A melakukan operasi *downlink* dari pemancar *eNodeB* operator A yang menggunakan konfigurasi #1. Simulasi dilakukan dengan memvariasikan nilai *signal-to-interference-plus-noise ratio* (*SINR*) yang diterima oleh UE. Nilai *SINR* pada skenario #1 diperoleh dari hasil simulasi, yang diamati adalah unjuk kerja tingkat pengiriman paket data PDSCH yang direpresentasikan oleh lantasan dan nilai BER [8], [9]. Gbr. 6 menunjukkan ilustrasi skenario #1.



Gbr. 6 Ilustrasi skenario #1.

TABEL II  
KONFIGURASI *SUBFRAME* DAN *TRANSPORT BLOCK* UNTUK SATU *FRAME* KONFIGURASI #1 (SF= *SUBFRAME*, U=*UPLINK*, D=*DOWNLINK*, S=*SPECIAL SUBFRAME*)

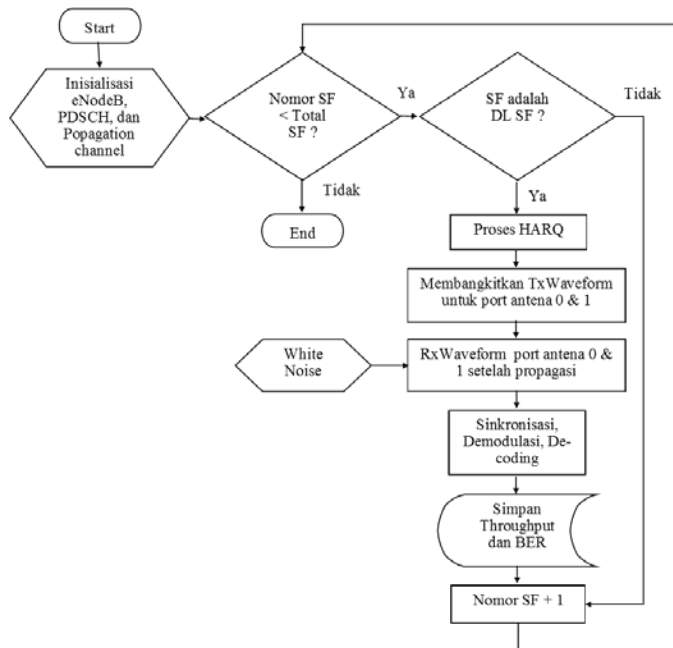
Parameter	Subframe Konfigurasi #1									
Nomor Subframe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Jenis Subframe	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
Ukuran Transport Block (bit)	5.160	3.880	0	0	5.160	0	3.880	0	0	5.160
Ukuran Coded Transport Block (bit)	12.528	10.656	0	0	13.200	0	10.656	0	0	13.200

Model kanal yang digunakan untuk *downlink* adalah *Fixed Reference Channel R.46 TDD* [10]. Mode operasi yang digunakan adalah konfigurasi #1 dengan ukuran blok *transport* yang tercantum pada Tabel II. Parameter-parameter teknis

yang digunakan pada simulasi skenario #1 dan skenario #2 tercantum pada Tabel III dengan mode transmisi diasumsikan menggunakan *transmit diversity*, karena mode ini memberikan unjuk kerja terbaik saat kualitas sinyal rendah, atau dalam region *SINR* yang rendah [11]. Dari parameter yang telah ditentukan, simulasi dikembangkan sesuai dengan algoritme sebagaimana ditunjukkan oleh Gbr. 7.

TABEL III  
PARAMETER TEKNIS SIMULASI SKENARIO #1 DAN SKENARIO #2

Parameter	Asumsi
Jumlah port antenna pemancar (Tx)	2
Jumlah port antenna penerima (Rx)	2
Mode transmisi	<i>Transmit Diversity</i>
Modulasi	QPSK
Jumlah proses HARQ	7
Jumlah iterasi teknik Turbo	5
<i>Cyclic Prefix</i>	Normal
Lebar pita kanal	10 MHz
Konfigurasi <i>uplink-downlink</i>	1 (dirinci pada Tabel II)
<i>Multipath fading delay profile</i>	<i>Extended Vehicular A</i>
Frekuensi <i>Doppler</i>	70 Hz
Korelasi MIMO	<i>Low</i>
Jumlah <i>frame</i> yang disimulasikan	100
<i>SINR</i>	-6,4; -5,9; -5,4; -4,9; -4,4; -3,9; -3,4; -2,9; -2,4; -1,9; -1,4; -0,9; -0,4; 0,1; 0,6; 1,1; 1,6; 2,1; 2,6; 3,1; 3,6; 4,1 dB



Gbr. 7 Algoritme simulasi skenario #1 (keterangan: SF= subframe, DL=downlink, UL=uplink).

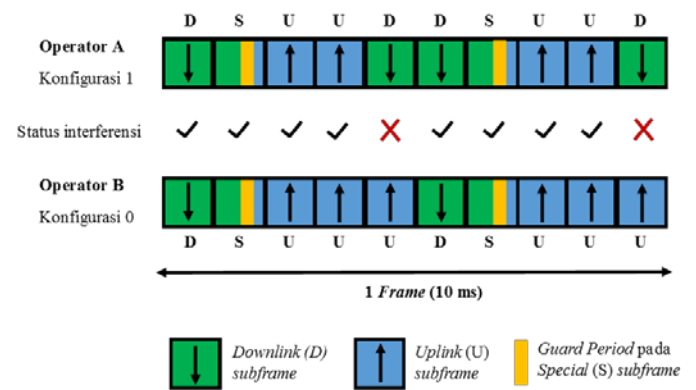
B. Skenario #2: Simulasi Jaringan TD-LTE dengan CTI

Pada skenario #2 disimulasikan fenomena interferens yang dialami oleh UE operator A, sebagai akibat CTI dari UE operator B. Jaringan *uplink-downlink* operator A menggunakan mode konfigurasi #1 dan operator B menggunakan mode konfigurasi #0. Gbr. 8 mengilustrasikan kondisi CTI yang terjadi antara *frame* data yang dioperasikan oleh operator A dan operator B.

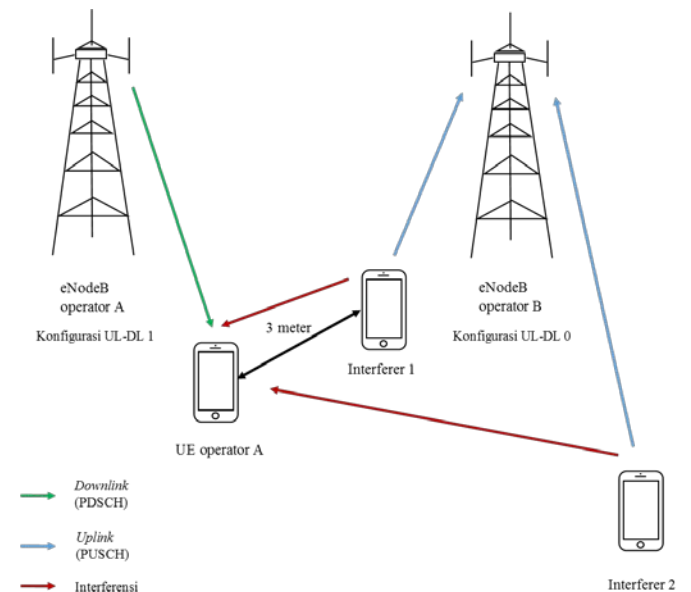
Model interferens yang digunakan untuk simulasi diambil dari dokumen spesifikasi teknis 3GPP [10], dengan karakteristik nilai *Dominant Interferer Proportion* (DIP) menurut (1).

$$DIP_i = \frac{I_{or(i+1)}}{N_{oc'}} \tag{1}$$

Variable  $I_{or(i+1)}$  adalah rata-rata rapat spektral daya atau *power spectral density* (PSD) yang diterima dari penginterferens terkuat ke-i ( $I_{or(1)}$  diasumsikan sebagai PSD dari *eNodeB* yang melayani UE) dan  $N_{oc'} = N_{oc} = \sum_{j=2}^N I_{or(j)} + N_{oc}$  dengan  $N_{oc}$  adalah rata-rata PSD dari *white noise source* dan  $N$  adalah total penginterferens yang ada.



Gbr. 8 Kondisi CTI pada *frame* proses *uplink-downlink* pada simulasi skenario #2.



Gbr. 9 Ilustrasi skenario #2.

Pada skenario #2 diasumsikan terdapat dua sumber interferens yaitu dua UE yang sedang dilayani oleh operator B. Gbr. 9 menunjukkan ilustrasi skenario #2. Kedua penginterferens diasumsikan sedang melakukan operasi *uplink* yang menginterferens UE operator A. Penginterferens 1 adalah penginterferens terkuat pertama dengan  $DIP_1$  -1,73 dB yang berjarak 3 meter dari UE operator A dan penginterferens 2 adalah penginterferens terkuat kedua dengan  $DIP_2$  -8,66 dB yang berjarak jauh lebih besar dari penginterferens 1. Model kanal yang digunakan untuk proses *uplink* adalah *Fixed Reference Channel A3-5* [12].

Urutan langkah-langkah proses simulasi dilakukan berdasarkan algoritme yang ditunjukkan pada Gbr. 10. Persamaan (2) hingga (7) digunakan untuk menghitung PSD yang diterima oleh UE operator A dari kedua penginterferens operator B.

$$SINR = \frac{E_s}{N_{oc'}} \tag{2}$$

$$N_{oc}' = \frac{1}{SINR} \text{ (Normalized to } E_s) \tag{3}$$

$$N_{oc}' = N_{oc} + I_{or2} + I_{or3} \tag{4}$$

$$I_{or2} = DIP_1 \times N_{oc}' \tag{5}$$

$$I_{or3} = DIP_2 \times N_{oc}' \tag{6}$$

$$N_{oc} = N_{oc}' - (I_{or2} + I_{or3}) \tag{7}$$

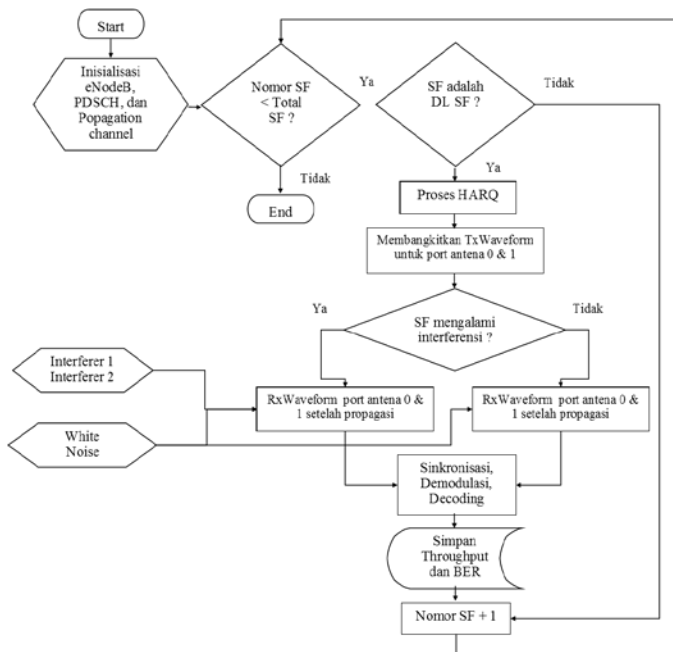
dengan

$SINR$  = *Signal-to-interference-plus-noise ratio*

$I_{or2}$  = PSD yang diterima dari penginterferens 1

$I_{or3}$  = PSD yang diterima dari penginterferens 2

$N_{oc}$  = PSD dari *white noise source*

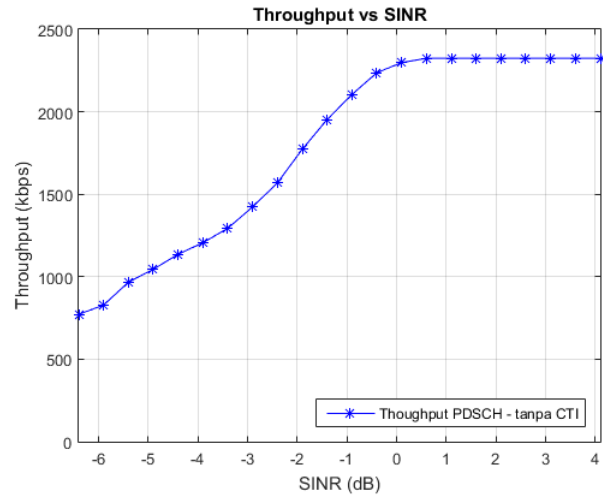


Gbr. 10 Algoritme simulasi skenario #2 (keterangan: SF=subframe, DL=downlink, UL=uplink).

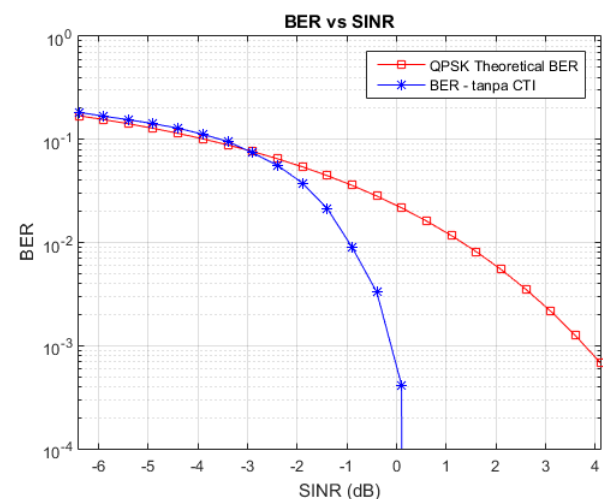
IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Hasil dan Analisis Skenario #1: Simulasi Jaringan TD-LTE tanpa CTI

Gbr. 11 menunjukkan hasil simulasi yang dinyatakan dengan nilai lantasan PDSCH terhadap nilai SINR yang diterima oleh UE. Pada skenario #1, cacah penginterferens tidak berubah, sehingga diasumsikan perubahan nilai *SINR* hanya berasal dari derau kanal (derau Gaussian). Gbr. 11 menunjukkan lantasan mengalami peningkatan seiring dengan naiknya variasi nilai *SINR* dari nilai negatif (-6,4 dB) hingga relatif stabil setelah mencapai nilai positif (0,6 dB). Selanjutnya, lantasan mencapai nilai maksimal yaitu 2.340 kbps.



Gbr. 11 Hasil simulasi skenario #1: nilai lantasan PDSCH pada kondisi tanpa CTI.



Gbr. 12 Hasil simulasi Skenario #1: grafik BER vs SNR pada kondisi tanpa CTI.

Gbr. 12 menunjukkan hasil simulasi BER terhadap nilai *SINR* yang diterima oleh UE. Sebagai perbandingan, juga ditunjukkan grafik *QPSK-theoretical-BER*, yaitu nilai BER teoretis saat teknologi TD-LTE tidak menerapkan teknik *turbo code*. Merujuk pada Gbr. 12, terlihat bahwa nilai *SINR* -5,9 dB

hingga SINR -2,9 dB nilai BER hasil simulasi tanpa CTI mendekati nilai BER teoritis. Dimulai dari nilai SINR -2,6 dB hingga SINR 0,1 dB nilai BER hasil simulasi terus mengalami penurunan, disebabkan penerapan *turbo code* sebagai teknik deteksi dan koreksi kesalahan data [13]. Hasil simulasi pada Gbr. 9 bersesuaian dengan Gbr. 8 dan pada nilai SINR 0,6 dB tidak terjadi galat bit, sehingga lantasan mencapai nilai maksimal 2.340 kbps.

### B. Hasil dan Analisis Skenario #2: Simulasi Jaringan TD-LTE dengan CTI.

Gbr. 13 menunjukkan hasil simulasi skenario #2, yaitu nilai lantasan PDSCH terhadap variasi nilai SINR dengan CTI. Untuk memudahkan ilustrasi perbandingan unjuk kerja, Gbr. 13 juga menggabungkan grafik lantasan pada kondisi tanpa CTI. Berdasarkan Gbr. 13, terlihat bahwa lantasan PDSCH dengan CTI mengalami penurunan dibandingkan dengan lantasan PDSCH tanpa CTI. Lantasan PDSCH pada kondisi CTI mendekati nilai maksimal pada nilai SINR 3,9 dB. Secara aritmetika, didapatkan bahwa pada semua level SINR yang disimulasikan dari -6,4 dB hingga 4,1 dB, unjuk kerja lantasan PDSCH mengalami penurunan rata-rata sebesar 15,29 %.

Gbr. 14 menunjukkan hasil simulasi yang dinyatakan dengan nilai BER terhadap nilai SINR pada kondisi skenario #2. Untuk memudahkan ilustrasi perbandingan unjuk kerja, Gbr. 14 juga menggabungkan grafik nilai BER pada kondisi tanpa CTI dan nilai BER teoritis. Untuk seluruh variasi nilai SINR yang disimulasikan, hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai BER pada kondisi CTI lebih buruk dari grafik BER teoritis. Hasil simulasi pada Gbr. 14 bersesuaian dengan Gbr. 13, dengan variasi nilai SINR hingga 3,9 dB masih terdapat bit yang mengalami kesalahan, sehingga lantasan PDSCH belum dapat mencapai nilai maksimal.

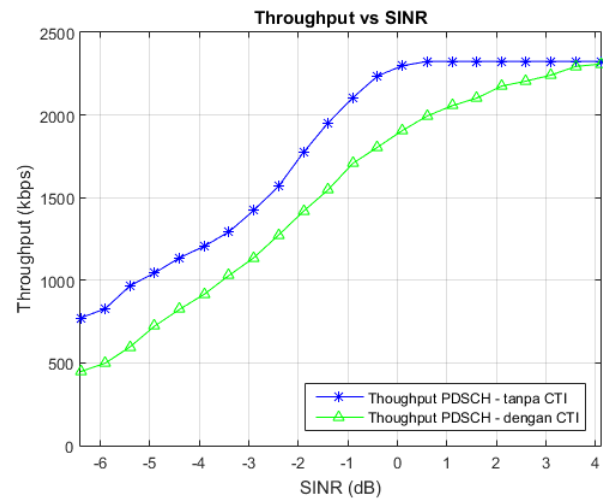
### C. Analisis Penurunan Unjuk Kerja Jaringan TD-LTE

Hasil simulasi menunjukkan bahwa terjadi degradasi unjuk kerja lantasan PDSCH dan nilai BER sebagai akibat CTI. Untuk mengilustrasikan degradasi tersebut, makalah ini menyimulasikan perbedaan bentuk sinyal (*waveform*) yang dikirimkan oleh *eNodeB* dan yang diterima oleh UE. Sinyal yang dikirimkan dari antenna pemancar *eNodeB* (*Tx waveform*) digambarkan sebagai fungsi waktu sepanjang 10 *subframe*. Selanjutnya sinyal yang diterima oleh UE (*Rx waveform*) juga digambarkan pada kondisi dengan dan tanpa CTI.

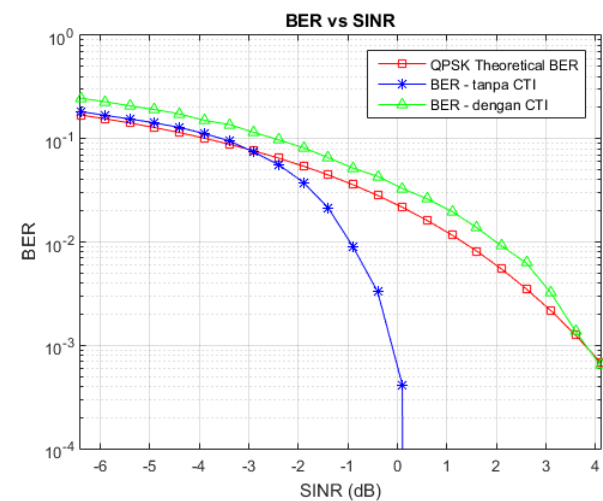
Gbr. 15 menunjukkan hasil simulasi *Tx waveform* dari antenna pemancar *eNodeB* untuk 10 *subframe* pada nilai SINR 0,6 dB. Nilai tersebut dipilih karena sesuai hasil simulasi sebelumnya, lantasan PDSCH telah mencapai nilai maksimal pada level SINR 0,6 dB. Terdapat bagian *real* yang merepresentasikan *in-phase* (I) dan bagian *imaginary* yang merepresentasikan *quadrature* (Q). Perbedaan gambar mengindikasikan *subframe* yang berbeda dengan setiap *subframe* memiliki panjang 1 ms. Sesuai dengan konfigurasi *subframe* pada Tabel II, hanya *subframe* 0, 1, 4, 6, dan 9 yang membawa data sehingga antenna pemancar hanya membangkitkan bentuk sinyal untuk deretan *subframe* tersebut.

Gbr. 16 menunjukkan hasil simulasi bentuk sinyal yang diterima (*Rx waveform*) 10 *subframe* tanpa CTI pada level

SINR 0,6 dB. Sesuai dengan algoritme yang ditunjukkan Gbr. 7, sinyal yang diterima oleh UE adalah sinyal yang dikirimkan (*Tx waveform*) oleh *eNodeB*. Sinyal tersebut telah berpropagasi melalui kanal pudaran dan telah diberikan derau yang berupa sinyal acak dari distribusi normal standar dengan PSD yang konstan.



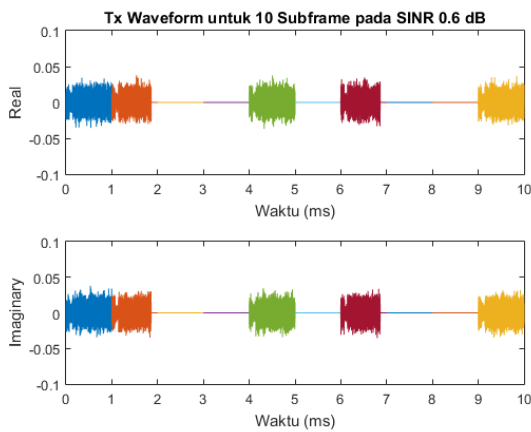
Gbr. 13 Hasil simulasi skenario #2: nilai lantasan PDSCH pada kondisi CTI dibandingkan dengan kondisi tanpa CTI.



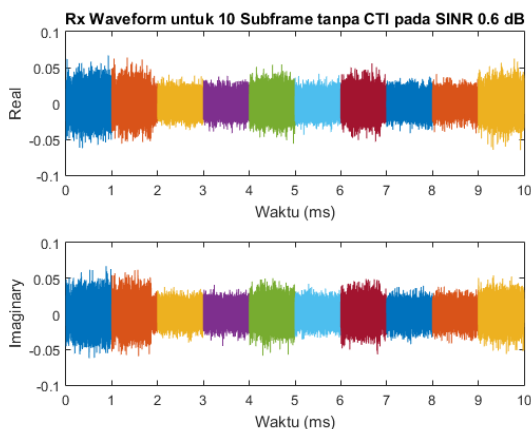
Gbr. 14 Hasil simulasi skenario #2: nilai BER pada kondisi CTI dibandingkan dengan kondisi tanpa CTI.

Gbr. 17 menunjukkan hasil simulasi bentuk sinyal yang diterima (*Rx waveform*) 10 *subframe* yang telah mengalami CTI pada SINR 0,6 dB. Pada Gbr. 17, selain diberikan derau, *Rx waveform* juga telah diberikan interferens pada *subframe* 4 dan 6 sesuai dengan ilustrasi pada Gbr. 8.

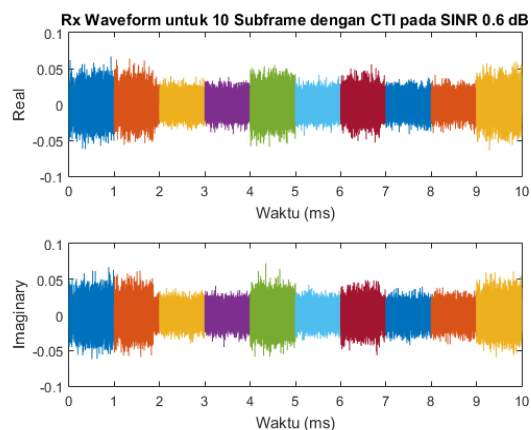
Jika dibandingkan dengan Gbr. 16, Gbr. 17 memiliki perbedaan pada *subframe* ke-4 dan *subframe* ke-9. Interferens tersebut pada akhirnya dapat menyebabkan terjadinya kesalahan bit pada *transport block* yang dibawa oleh *subframe* ke-4 dan ke-9, sehingga perlu dilakukan transmisi ulang melalui *subframe* selanjutnya. Hal inilah yang menyebabkan unjuk kerja lantasan PDSCH mengalami penurunan.



Gbr. 15 Bentuk sinyal dari pemancar *eNodeB* (Tx waveform) untuk 10 subframe pada nilai SINR 0,6 dB.



Gbr. 16 Bentuk sinyal yang diterima UE (Rx waveform) untuk 10 subframe pada kondisi tanpa CTI.



Gbr. 17 Bentuk sinyal yang diterima UE (Rx waveform) untuk 10 subframe pada kondisi CTI

Hasil-hasil simulasi pada makalah ini hanya mengindikasikan degradasi unjuk kerja jaringan pada mode konfigurasi #1 dan mode konfigurasi #0. Pada kenyataannya, operator penyelenggara jaringan TD-LTE dapat saja menerapkan beberapa mode konfigurasi, sehingga potensi permasalahan yang akan muncul juga akan bertambah. Salah

satu alternatif solusi teknis untuk mengurangi dampak penurunan lantasan PDSCH adalah dengan meningkatkan jarak pemisah antara UE dan penginterferens. Sebagaimana ditunjukkan pada Gbr. 9, makalah ini menyimulasikan jarak pemisah sebesar 3 meter antara UE operator A dan penginterferens 1.

Jika jarak pemisah ditingkatkan, maka redaman (*pathloss*) penginterferens 1 akan meningkat dan PSD dari penginterferens 1 akan menurun. Pada akhirnya, penurunan nilai PSD tersebut akan proporsional dengan penurunan nilai interferensi yang diterima oleh UE.

## V. KESIMPULAN

Dalam makalah ini telah dikembangkan simulasi CTI yang terjadi antara dua jaringan TD-LTE yang memiliki alokasi spektrum berdampingan dengan konfigurasi *uplink-downlink* yang berbeda. Parameter unjuk kerja yang ditinjau adalah lantasan dan BER dari sebuah kanal PDSCH. Dari simulasi yang telah dilakukan, tampak bahwa CTI memengaruhi subframe tertentu yang memiliki perbedaan mode konfigurasi *uplink-downlink* antara satu operator penyelenggara dengan operator penyelenggara lainnya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa CTI dapat menurunkan unjuk kerja BER yang pada akhirnya menurunkan nilai lantasan PDSCH. Diperoleh rata-rata nilai degradasi sebesar 15,29% dibandingkan dengan lantasan PDSCH yang tidak mengalami CTI. Dikarenakan Indonesia mengalokasikan frekuensi 2.300 MHz – 2.400 MHz bagi penyelenggaraan jaringan TD-LTE, maka setiap operator penyelenggara jaringan harus lebih memerhatikan fenomena CTI yang dapat menurunkan unjuk kerja jaringan secara keseluruhan.

## REFERENSI

- [1] 3rd Generation Partnership Project, "Overview of 3GPP Release 8," v.0.3.3, September 2014.
- [2] D. Astely, E. Dahlman, A. Furuskar, Y. Jading, M. Lindstrom, S. Parkvall, "LTE: The Evolution of Mobile Broadband," *IEEE Communications Magazine*, pp. 44-51, April 2009.
- [3] W. Wang, K. Zhou, Y. Zhang, S. Shen, "Effects of synchronization errors on the performance of TDD-OFDMA crossed timeslot," *Proc. ChinaCom 2008*, pp. 870-875, Agustus 2008.
- [4] P. Chang, Y. Chang, Y. Han, C. Zhang, and D. Yang, "Interference analysis and performance evaluation for LTE TDD system," *International Conference on Advanced Computer Control (ICACC) 2010*, pp. 410-414, Maret 2010.
- [5] Qualcomm Engineering Services Group; Inter-operator Coordination Requirements for Band 40 LTE-TDD systems in India, 80-BC153-1 Rev A, Juni 2013; www.qualcomm.com/esg.
- [6] S. Fuada, "Perancangan Broadband RF Power Amplifier 2,3 GHz pada 4G LTE Time Division Duplex," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, Vol. 4, No.3, Agustus 2015.
- [7] 3GPP TS 36.211, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation," v. 12.6.0, Juli 2015.
- [8] T. O. Takpor & F. E. Idachaba, "Analysis and Simulation of LTE Downlink and Uplink Transceiver," *World Congress on Engineering (WCE) 2014*, vol. 1, Juli 2014.
- [9] J. Zhu & H. Li, "On the Performance of LTE Physical Downlink Shared Channel," *Computer Science and Network Technology (ICCSNT) 2011*, pp. 983-986, Desember 2011.
- [10] 3GPP TS 36.101, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception," v. 12.7.0, Mei 2015.

- [11] L. Mohandas & V. Bhaskar, "Performance Analysis of MIMO Transmission Modes in an LTE System," *Chennai Fourth International Conference on Sustainable Energy and Intelligent Systems (SEISCON) 2013*, pp. 548-553, Desember 2013.
- [12] 3GPP TS 36.104, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception," v. 12.8.0, Juli 2015.
- [13] D-F Yuan & X-F Song, "Turbo Code Performance over Rayleigh Fading Channel Using QPSK Modulation," *Proceedings of IEEE TENCON 02*, pp. 1056-1059, 2002.