

Evaluasi Kinerja Sistem *Gaussian Minimum Shift Keying* (GMSK) untuk Pengiriman Citra dari Satelit Nano ke Stasiun Bumi

Muhammad Rizal Habibi, Devy Kuswidiastuti, dan Gamantyo Hendranto
 Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
 Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
E-mail: devy@ee.its.ac.id

Abstrak— Satelit nano IiNUSAT merupakan satelit nano pertama yang dibuat dan diluncurkan oleh mahasiswa dari beberapa perguruan tinggi di Indonesia. Riset terkait satelit nano IiNUSAT telah mencapai tahap kedua yang bernama IiNUSAT II. Sistem komunikasi satelit nano IiNUSAT II memiliki dua lintasan transmisi, yaitu *uplink* dengan frekuensi *carrier* 145,995 MHz dan *downlink* dengan frekuensi *carrier* 2,4 GHz. Satelit nano IiNUSAT II dipersiapkan untuk melakukan *surveillance* terhadap bumi, sehingga sinyal informasi yang dikirimkan dalam lintasan *downlink* adalah sinyal informasi yang berasal dari citra. Satelit nano IiNUSAT II berorbit pada *Low Earth Orbit* (LEO) dengan kecepatan tertentu. Pergerakan relatif satelit terhadap stasiun bumi mengakibatkan adanya pergeseran frekuensi kerja satelit yang dikenal dengan *Doppler shift*. *Doppler shift* terbesar terjadi saat satelit berada pada jarak terjauh dengan terminal di bumi. Pada lintasan transmisi *downlink*, *Doppler shift* maksimum adalah sebesar 51,1 kHz. Di samping *Doppler shift*, pada kanal sistem komunikasi satelit ini juga terdapat gangguan lain yang berupa *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Berdasarkan hasil simulasi, dapat diketahui bahwa *Doppler shift* tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap lintasan *downlink* yang digunakan dalam proses pengiriman citra dari satelit nano menuju stasiun bumi.

Kata Kunci— *Doppler Shift*, *Gaussian Minimum Shift Keying*, Pengiriman Sinyal Citra, Satelit Nano.

I. PENDAHULUAN

KOMUNIKASI merupakan salah satu kebutuhan utama manusia saat ini. Tuntutan akan komunikasi akan semakin besar seiring dengan perkembangan teknologi. Dalam bidang telekomunikasi, teknologi satelit merupakan teknologi yang dikembangkan secara kontinyu. Dibandingkan dengan bentuk komunikasi lain, komunikasi satelit memiliki beberapa kelebihan, antara lain pemanfaatannya yang luas seperti pada pencitraan bumi, pendeteksian gempa bumi, komunikasi, dan lain-lain [1].

Untuk memacu penguasaan teknologi satelit oleh bangsa Indonesia, maka diperlukan adanya upaya menuju penjajagan pengembangan sistem satelit oleh perguruan tinggi di Indonesia. Oleh karena itu, dibentuklah forum *Indonesian Nano Satellite Platform Initiative for Research and Education* (INSPIRE) yang menggerakkan kemandirian mahasiswa untuk membuat dan meluncurkan satelit nano Indonesia yang pertama, *Indonesian Inter-University Satellite* (IiNUSAT). Satelit ini dibuat oleh enam perguruan tinggi di Indonesia (ITS, PENS, UI, ITB, UGM, dan IT TELKOM) serta LAPAN [2].

Kini, satelit nano IiNUSAT sedang mencapai pengembangan tahap kedua yang disebut dengan IiNUSAT II. IiNUSAT II merupakan pengembangan dari satelit nano IiNUSAT I. Spesifikasi diantara keduanya sedikit berbeda, yakni pada frekuensi kerja *uplink* dan *downlink* yang dipergunakan. Perbedaan yang tampak antara satelit nano IiNUSAT I dan II juga terdapat pada fungsi dari kedua satelit tersebut. Untuk satelit nano IiNUSAT I, fungsi dari sistemnya adalah untuk proses pengiriman data teks, sedangkan untuk satelit nano IiNUSAT II, fungsi dari sistemnya adalah untuk proses pengiriman citra hasil penangkapan kamera yang digunakan untuk pengindraan jauh atau *surveillance* terhadap bumi.

Sebagaimana satelit pada umumnya, satelit Nano IiNUSAT II pun juga bergerak berdasarkan orbitnya. Pergerakan satelit ini dapat ditangkap oleh antena *receiver* dan dapat diamati dengan menggunakan *software tracking* pergerakan satelit. Posisi pergerakan satelit yang berubah-ubah dengan kecepatan tertentu terhadap antena *receiver* di *ground station* ini dapat mengakibatkan adanya efek *Doppler*. Efek ini dapat mengakibatkan adanya kesalahan penerimaan sinyal pembawa yang diterima oleh *receiver* [3].

Dalam satu penelitian yang dilakukan oleh Ali dkk. [4], telah ditunjukkan bahwa terdapat adanya pergeseran frekuensi *Doppler* yang terjadi dalam sistem transmisi satelit LEO. Dalam paper yang diusulkannya, Ali dkk. telah menunjukkan bahwa frekuensi *doppler* yang diperoleh pada terminal menunjukkan variasi waktu yang dapat ditentukan oleh parameter sudut elevasi maksimum dari terminal ke satelit selama rentang waktu kemunculan. *Doppler shift* didapat dari bentuk normalisasi *Doppler shift* yang sama dengan v/c , dimana v adalah kecepatan relatif satelit terhadap terminal di bumi dan c adalah kecepatan cahaya. Pergeseran frekuensi *Doppler* hanya terjadi selama durasi kemunculan satelit pada terminal dimana kenaikan durasi kemunculan sebanding dengan kenaikan sudut elevasi maksimum satelit.

Dalam penelitian lain yang dilakukan oleh Wijayanti [5], telah dilakukan adanya evaluasi unjuk kerja dari modulasi BPSK terhadap pengiriman data yang dilakukan oleh satelit nano IiNUSAT I. Dalam penelitiannya, Wijayanti telah membuktikan bahwa terdapat adanya pergeseran frekuensi *Doppler* (*Doppler Shift*) yang terjadi pada sistem pentransmisi tersebut. *Doppler Shift* terbesar terjadi saat satelit berada pada posisi terjauh terhadap stasiun bumi atau *ground station*. *Doppler shift* terbesar pada transmisi *uplink* adalah sebesar 3107 Hz, sedangkan pada transmisi *downlink* adalah sebesar 9302 Hz. Disamping itu, untuk mencapai nilai

Bit Error Rate (BER) 10^{-5} , diperlukan jarak frekuensi minimum antara bit 1 dan bit 0 sebesar 5Rb untuk lintasan transmisi *uplink*, sedangkan untuk lintasan *downlink* dibutuhkan jarak frekuensi minimum sebesar 3Rb. Dari penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pergeseran frekuensi Doppler ternyata memiliki pengaruh terhadap kinerja sistem komunikasi satelit nano IiNUSAT I.

Melalui latar belakang tersebut, dilakukanlah suatu penelitian yang bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem komunikasi satelit nano IiNUSAT II dalam proses pengiriman citra hasil penangkapan kamera menuju stasiun bumi. Pemodelan mengenai *Gaussian Minimum Shift Keying* sebagai modulasi yang akan digunakan dalam proses pengiriman citra satelit dengan frekuensi kerja sebesar 2,4 GHz, gangguan kanal AWGN, serta efek Doppler yang berpengaruh terhadap sistem akan dibahas melalui paper ini.

II. GAUSSIAN MINIMUM SHIFT KEYING

Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) adalah modulasi biner yang secara sederhana dapat dipandang sebagai pengembangan dari *Minimum Shift Keying* (MSK). MSK itu sendiri merupakan tipe khusus dari *Continuous Phase Frequency Shift Keying* (CP-FSK) yang mana deviasi frekuensi puncaknya sama dengan setengah laju bit (*bit rate*) serta memiliki indeks modulasi sebesar 0.5 [6].

GMSK, sebagai bentuk pengembangan dari MSK, didapatkan dengan cara melewati sinyal input ke dalam *premodulation filter* Gaussian sebelum termodulasi MSK. *Premodulation filter* Gaussian mengubah respon penuh sinyal informasi (dimana setiap simbol *baseband* membutuhkan satu periode bit T) ke dalam respon sebagian yang mana setiap simbol yang dikirim membutuhkan beberapa periode bit. Bagaimanapun bentuk pulsanya tidak akan menyebabkan kerusakan pada *trajectory* fasa, sehingga menyimpang dari MSK sederhana. Filter premodulasi Gaussian mempunyai respon impuls yang dinyatakan sebagai berikut :

$$h(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\alpha T}} \exp\left(-\frac{t^2}{2\alpha^2 T^2}\right) \quad (1)$$

dimana parameter α ada hubungannya dengan B, yaitu :

$$\alpha = \frac{\sqrt{\ln 2}}{2\pi BT} \quad (2)$$

dengan substitusikan (1) ke (2), maka filter fungsi Gaussian menjadi [6] :

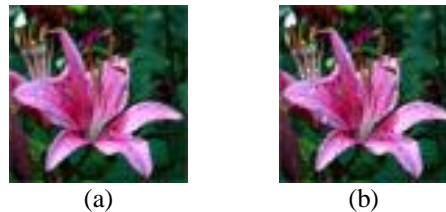
$$h(t) = \sqrt{\frac{2\pi}{\ln(2)}} B \exp\left(-2 \frac{(\pi B t)^2}{\ln(2)}\right) \quad (3)$$

dimana B adalah 3 dB *bandwidth* dari filter. Tanggapan LPF Gaussian terhadap pulsa persegi adalah sebagai berikut :

$$g(t) = h(t) * m(t) \quad (4)$$

dengan fungsi persegi $m(t)$ didefinisikan sebagai berikut :

$$m(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} b_k u(t - kT_b) \quad (5)$$



Gambar 1. (a) Citra *flower.jpg* Sebelum Melalui Proses Transmisi (b) Citra *flower.jpg* Setelah Melalui Proses Transmisi (saat terkena pergeseran frekuensi Doppler maksimum, SNR = 10 dB)

dimana

$$b_k = \begin{cases} 1 & \text{untuk } m_k = 1 \\ -1 & \text{untuk } m_k = -1 \end{cases}$$

$$u(t) = \begin{cases} 1 & \text{untuk } 0 < t < T_b \\ 0 & \text{untuk yang lain} \end{cases}$$

Dalam hal ini, persamaan GMSK adalah sebagai berikut :

$$S_{GMSK} = \cos\left[2\pi f_c t + \frac{\pi h}{T_b} \int_{-\infty}^t g(\tau) d\tau\right] \quad (6)$$

atau

$$S_{GMSK} = \cos\left[2\pi f_c t + \frac{\pi}{2T_b} \int_{-\infty}^t g(\tau) d\tau\right] \quad (7)$$

dimana untuk indeks modulasi GMSK, $h=0,5$.

Dalam penerapannya, GMSK sangat sesuai dipergunakan pada sistem komunikasi radio bergerak, karena memiliki efisiensi daya dan efisiensi spektral yang sangat baik, memiliki selubung yang konstan, serta *Bit Error Rate* (BER) yang rendah. Oleh karena itulah, modulasi GMSK dipergunakan dalam sistem komunikasi IiNUSAT II.

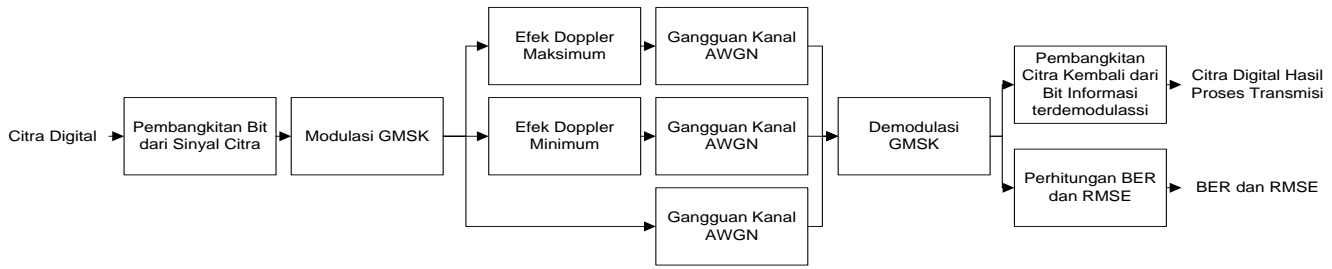
III. PEMODELAN SISTEM

A. Variabel Kontrol Pemodelan Sistem

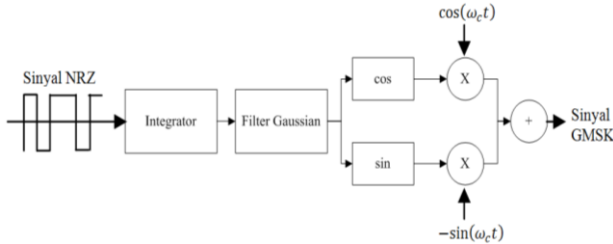
Dalam melakukan pemodelan sistem, disamping terkena gangguan AWGN, kanal juga dikondisikan terkena 3 jenis pengaruh efek Doppler sebagai berikut :

- 1) pergeseran frekuensi Doppler maksimum,
- 2) pergeseran frekuensi Doppler minimum,
- 3) tanpa pergeseran frekuensi Doppler.

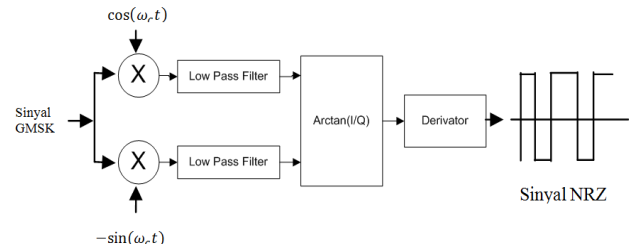
Ketiga kondisi tersebut disimulasikan dengan menggunakan proses simulasi sistem yang terlihat pada Gambar 2. Mula-mula, simulasi dilakukan dengan membangkitkan sinyal biner dari citra RGB berwarna “flower.jpg” berukuran 64x64 pixels sebagaimana terlihat pada Gambar 1, kemudian dilanjutkan dengan melakukan modulasi GMSK terhadap bit biner tersebut dengan proses modulasi sebagaimana terlihat pada Gambar 3. Setelah proses modulasi selesai, selanjutnya adalah mensimulasikan beberapa kondisi sebagaimana tercantum pada poin 1, 2 dan 3 di atas, sehingga didapatkan 3 macam bit biner yang berbeda-beda sesuai dengan kondisi masing-masing. Setelah memperoleh bit biner hasil proses sebelumnya, selanjutnya adalah melakukan proses demodulasi terhadap ketiga macam bit biner tersebut, dengan proses demodulasi terlihat pada Gambar 4. Setelah proses demodulasi selesai, maka didapatkan bit biner hasil proses demodulasi. Bit



Gambar 2. Bagan Sistem Pengiriman Citra dari Satelit Nano Menuju Stasiun Bumi



Gambar 3. Modulator GMSK



Gambar 4. Demodulator GMSK

biner ini kemudian dijadikan citra kembali sehingga didapatkan citra hasil olahan proses GMSK. Hingga tahap ini, diperoleh data berupa BER dan juga RMSE sebagai representasi kualitas hasil proses modulasi-demodulasi GMSK yang telah terpengaruh oleh kondisi 1, 2, dan 3. Disamping itu, juga diperoleh data kualitas citra hasil olahan proses GMSK melalui pengamatan visual mata manusia dengan menggunakan metode survey koersioner yang mana rekapitulasinya dapat dilihat pada Gambar 10.

B. Pemodelan Modulator GMSK

Pemodelan modulator GMSK, sebagaimana yang tampak pada Gambar 3, dilakukan dengan cara mengirimkan sinyal bipolar NRZ dari sinyal biner yang berasal dari citra digital “flower.jpg” (Gambar 1) pada sistem yang terdiri atas integrator, filter gaussian, hingga melakukan proses modulasi MSK dengan cara memisahkan sisi *in-phase* dan *quadrature* dari sinyal tersebut, kemudian mengalikan sisi *in-phase* dengan $\cos(\omega_c t)$ dan mengalikan sisi *quadrature* dengan $-\sin(\omega_c t)$. Setelah hasil kali keduanya dijumlahkan, kemudian didapatkanlah sinyal termodulasi GMSK.

C. Pemodelan Doppler Shift

Setelah dimodulasi, bit informasi dikirimkan melalui suatu kanal transmisi. Kanal transmisi yang digunakan dalam simulasi ini diasumsikan sebagai kanal ideal. Pada saat melewati kanal transmisi, frekuensi kerja bit informasi mengalami pergeseran yang diakibatkan oleh pergerakan relatif satelit terhadap terminal di bumi. Karena lintasan transmisi yang digunakan dalam pengiriman citra adalah lintasan *downlink*, maka *Doppler shift* yang terjadi juga berkaitan dengan frekuensi kerja lintasan *downlink-nya*, yakni 2,4 GHz.

Pada simulasi ini, perhitungan besarnya pergeseran frekuensi Doppler dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan matematis. Untuk menerapkan persamaan matematis itu, terdapat beberapa asumsi yang digunakan, antara lain eksentrisitas (e) = 0 yang berarti bahwa lintasan orbit satelit berupa lingkaran (*circular orbit*), sudut inklinasi 53° , dan ketinggian satelit 700 km.

Agar dapat melakukan peninjauan posisi satelit, diperlukan suatu penggunaan ilmu geometri, yaitu dengan menggunakan sistem koordinat *Earth Centered Fixed* (ECF). Penggunaan sistem koordinat ECF dapat dilihat pada Gambar 5, dimana P merupakan lokasi terminal di bumi yang dapat mengamati satelit pada sudut elevasi maksimum (θ_{max}), sedangkan M merupakan posisi subsatelit di bumi saat sudut elevasinya maksimum. Posisi satelit $s(t)$ dapat ditentukan dengan menggunakan hukum *cosine* pada segitiga SOP, sehingga didapatkan persamaan posisi satelit :

$$s(t) = \sqrt{r_E^2 + r^2 - 2 r_E r \cos \gamma(t)} \quad (8)$$

Selanjutnya, pada Gambar 2 (c), jarak sudut antara M dan N yang dapat diukur sepanjang jejak pada permukaan bumi dapat dinotasikan sebagai $\psi(t) - \psi(t_0)$, dimana t_0 merupakan waktu saat sudut elevasi bernilai maksimum. Persamaan ini dapat diterapkan menggunakan segitiga MNP, sehingga didapatkan :

$$\cos \gamma(t) = \cos(\psi(t) - \psi(t_0)) \cos \gamma(t_0) \quad (9)$$

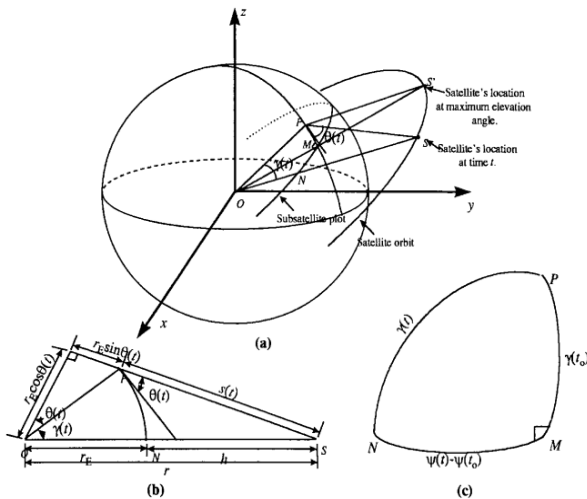
Dengan mensubstitusikan (9) ke (8), maka dihasilkanlah (10) sebagai berikut:

$$\dot{s}(t) = \frac{r_E r \sin(\psi(t) - \psi(t_0)) \cos \gamma(t_0) \cdot \dot{\psi}(t)}{\sqrt{r_E^2 + r^2 - 2 r_E r \cos(\psi(t) - \psi(t_0)) \cos \gamma(t_0)}} \quad (10)$$

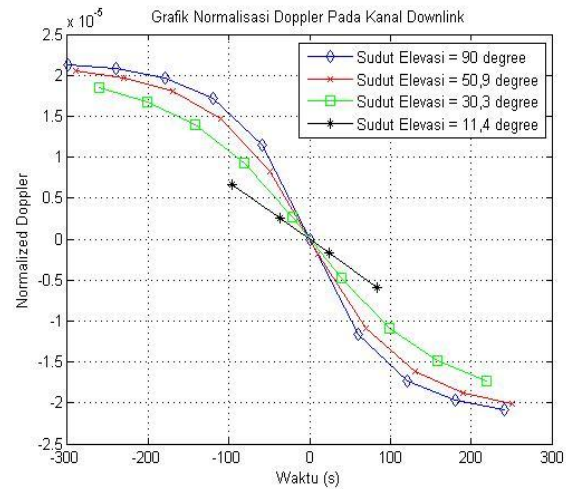
Sudut elevasi yang terjadi saat *epoch time* (t_0) adalah sudut elevasi maksimum, maka diperoleh :

$$\cos(\theta_{max} + \gamma(t_0)) = \frac{r_E}{r} \cos \theta_{max} \quad (11)$$

dimana $\dot{\psi}(t)$ merupakan kecepatan sudut dari satelit pada *frame* ECF. Oleh karena $\dot{\psi}(t) = \omega_f(t)$, maka $\omega_f(t)$ merupakan kecepatan sudut satelit pada *frame* ECF. Pergeseran frekuensi Doppler yang ternormalisasi ($\Delta f / f$) dapat dicari dari persamaan $\dot{s}(t)/c$ sehingga diperoleh (12). Dari



Gambar 5 Geometri Satelit selama Durasi Kemunculan Satelit : (a) Dasar Geometri Satelit ; (b) Plane Triangle SOP ; (c) Spherical Triangle MNP [4]



Gambar 6. Grafik Normalisasi Doppler

persamaan tersebut, dapat diketahui bahwa pergeseran frekuensi Doppler ternormalisasi merupakan fungsi dari sudut elevasi maksimum dan kecepatan sudut ($\omega_f(t)$) dari satelit pada frame ECF sebagaimana (12).

Hal yang perlu diperhitungkan untuk mendapatkan karakteristik Doppler adalah durasi kemunculan satelit. t_v dinotasikan sebagai waktu saat satelit terlihat dari stasiun di bumi. Sudut elevasi yang terjadi saat t_v merupakan sudut elevasi minimum untuk kemunculan satelit (θ_v). Dari hukum cosine pada segitiga MNP, didapatkan hubungan seperti pada persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \cos \gamma(t_v) &= \cos (\psi(t) - \psi(t_0)) \cos \gamma(t_0) \\ \psi(t) - \psi(t_0) &= \omega_f(t_v - t_0) = \cos^{-1}\left(\frac{\cos \gamma(t_v)}{\cos \gamma(t_0)}\right) \end{aligned} \quad (13)$$

Dengan demikian, durasi total kemunculan satelit terhadap receiver di ground station dapat diperkirakan dengan (14) sebagaimana tercantum pada [4].

Untuk mendapatkan nilai pergeseran Doppler ternormalisasi $\frac{\Delta f}{f}$, dapat menggunakan (12). Nilai Doppler ternormalisasi ini digunakan untuk mencari nilai Doppler shift tiap lintasan dengan cara mengalikannya dengan frekuensi carrier dari lintasan transmisi.

Di samping Doppler shift, terdapat gangguan lain yang pasti ada pada kanal ideal, yaitu AWGN. Pada simulasi ini dibangkitkan noise AWGN yang bersifat random dan berdistribusi Gaussian. Setelah noise ini dibangkitkan, amplitudo dari AWGN dijumlahkan dengan amplitudo bit informasi yang telah mengalami pergeseran frekuensi kerja.

D. Pemodelan Demodulator GMSK

Pemodelan Demodulator, sebagaimana yang tampak pada Gambar 4, dilakukan dengan cara memasukkan sinyal GMSK ke dalam suatu sistem yang dimulai dengan pemisahan sisi *in-phase* dan *quadrature* dari sinyal GMSK, kemudian melewati masing-masing *in-phase* dan *quadrature* pada filter *butterworth* orde ke-4. Sinyal keluaran dari filter *butterworth* tersebut kemudian diproses dalam $\tan^{-1} \frac{I}{Q}$, hingga kemudian dilanjutkan dengan melewati sinyal melalui sebuah derivator, sehingga didapatkan sinyal bipolar NRZ hasil demodulasi GMSK. Melalui sinyal hasil demodulasi ini, dapat diperoleh citra hasil proses transmisi dengan menggunakan sistem modulasi GMSK dengan berbagai gangguan yang telah dikondisikan sebelumnya.

IV. ANALISIS HASIL SIMULASI

A. Pergeseran Frekuensi Doppler

Pada simulasi Doppler shift ini, didapatkan hasil berupa kurva S pergeseran frekuensi Doppler yang ternormalisasi seperti pada Gambar 6. Pada gambar tersebut, dapat dilihat bahwa semakin besar waktunya maka semakin besar pergeseran Doppler ternormalisasi yang terjadi, begitu juga sebaliknya. Waktu merupakan salah satu parameter untuk menentukan posisi satelit. Ketika satelit pertama kali terlihat oleh terminal di bumi, saat itu merupakan posisi terjauh satelit terhadap terminal, sehingga Doppler shift yang terjadi cukup besar. Kemudian satelit terus bergerak mendekati terminal hingga berada tepat di atas posisi terminal, dimana Doppler shift bernilai 0 ($\theta_{min} = 90^\circ$). Setelah melewati posisi terdekat, satelit kembali bergerak menjauhi terminal di bumi sehingga pergeseran frekuensi yang terjadi terus meningkat hingga

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{1}{c} \frac{r_E r \sin (\psi(t)-\psi(t_0)) \cos \left(\cos^{-1}\left(\frac{r_E}{r} \cos \theta_{max}\right)-\theta_{max}\right) \cdot \omega_f(t)}{\sqrt{r_E^2+r^2-2 r_E r \cos (\psi(t)-\psi(t_0)) \cos \left(\cos^{-1}\left(\frac{r_E}{r} \cos \theta_{max}\right)-\theta_{max}\right)}} \quad (12)$$

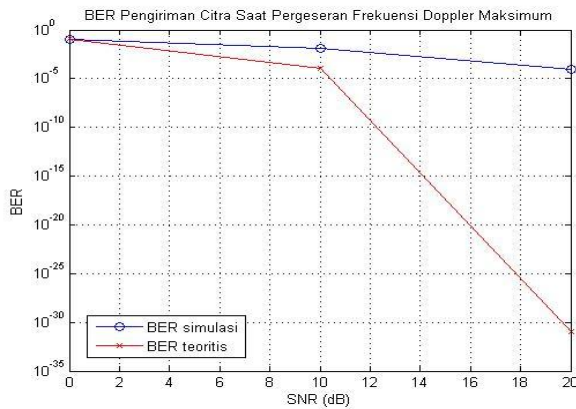
$$\tau(\theta_{max}) = 2 |t_v - t_0|$$

$$\tau(\theta_{max}) = \frac{2}{\omega_s - (\omega_E \cos(i))} \cos^{-1}\left(\frac{\cos(\cos^{-1}(\frac{r_E}{r} \cos \theta_v) - \theta_v)}{\cos(\cos^{-1}(\frac{r_E}{r} \cos \theta_{max}) - \theta_{max})}\right) \quad (14)$$

Tabel 1

BER Simulasi, BER Teoritis, dan RMSE dari Pengiriman Citra saat Pergeseran Frekuensi Doppler Maksimum

SNR	BER Simulasi		RMSE	BER Teoritis
	Jumlah Bit Error	BER		
0	10222	0,1039836	27,15673	0,5
10	1326	0,0134888	9,072677	0,00011309
20	10	0,0001017	0,559017	9,17E-08



Gambar 7. Grafik BER untuk Pentransmision Citra Saat Pergeseran Frekuensi Doppler Maksimum

satelit tidak terlihat lagi oleh terminal di bumi. Dari Gambar 6, terlihat bahwa durasi kemunculan satelit naik seiring dengan kenaikan sudut elevasi maksimum satelit. Disamping itu, dari Gambar 6, juga dapat dilihat bahwa besarnya Doppler Shift maksimum adalah sebesar 51,099 kHz, sedangkan besarnya Doppler Shift minimum adalah sebesar -49,899 kHz.

B. Pengiriman Citra saat Terjadi Pergeseran Frekuensi Doppler Maksimum

Kondisi pertama untuk proses simulasi adalah terjadi pergeseran frekuensi Doppler maksimum. Dalam kasus ini, dilakukan uji coba terhadap 3 kondisi, yakni dengan SNR 0 dB, SNR 10 dB, dan SNR 20 dB. Rekapitulasi hasil simulasi terhadap ketiga kondisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan secara grafis dapat dilihat pada Gambar 7.

Dari Gambar 7, dapat dilihat bahwa besarnya BER saat SNR 0 dB adalah 0,1039836. Saat SNR 10 dB, besarnya BER adalah 0,0134888. Saat 20 dB, besarnya BER adalah 0,0001017. Dari data tersebut, dapat dilihat bahwa nilai BER hasil simulasi mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya nilai SNR.

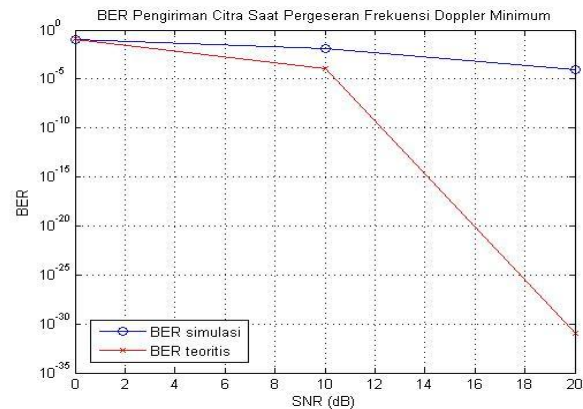
C. Pengiriman Citra saat Terjadi Pergeseran Frekuensi Doppler Minimum

Kondisi kedua untuk proses simulasi adalah terjadi pergeseran frekuensi Doppler minimum. Sama dengan kondisi pertama, dilakukan uji coba terhadap 3 kondisi, yakni pentransmision citra dengan SNR 0 dB, SNR 10 dB, dan SNR 20 dB. Rekapitulasi hasil simulasi terhadap ketiga kondisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan secara grafis dapat dilihat pada Gambar 8.

Tabel 2

BER Simulasi, Ber Teoritis, dan RMSE dari Pengiriman Citra saat Pergeseran Frekuensi Doppler Minimum

SNR	BER Simulasi		RMSE	BER Teoritis
	Jumlah Bit Error	BER		
0	10117	0,10291545	28,63352	0,5
10	1262	0,01283773	8,024057	0,00011309
20	9	9,16E-05	0,125973	9,17E-08



Gambar 8. Grafik BER untuk Pentransmision Citra Saat Pergeseran Frekuensi Doppler Minimum

Dari Gambar 8, dapat dilihat bahwa besarnya BER saat SNR 0 dB adalah 0,10291545. Saat SNR 10 dB, besarnya BER adalah 0,01283773. Saat 20 dB, besarnya BER adalah 9,16.10⁻⁵. Ternyata, kecenderungan yang sama juga terjadi dimana nilai BER hasil simulasi mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya nilai SNR.

D. Pengiriman Citra saat Tanpa Pergeseran Frekuensi Doppler

Kondisi ketiga untuk proses simulasi adalah tanpa pergeseran frekuensi Doppler. Dalam mensimulasikan kondisi ini, juga dilakukan uji coba terhadap 3 kondisi, yakni kondisi SNR 0 dB, SNR 10 dB, dan SNR 20 dB. Rekapitulasi hasil simulasi terhadap ketiga kondisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3, sedangkan secara grafis dapat dilihat pada Gambar 9.

Dari Gambar 9, dapat dilihat bahwa besarnya BER saat SNR 0 dB adalah 0,102417. Saat SNR 10 dB, besarnya BER adalah 0,013051. Saat 20 dB, besarnya BER adalah 0,000122. Sama halnya dengan kasus A, B, dan C, nilai BER hasil simulasi berbanding terbalik dengan nilai SNR.

E. Kualitas Citra Hasil Proses Pengiriman dengan Modulasi GMSK

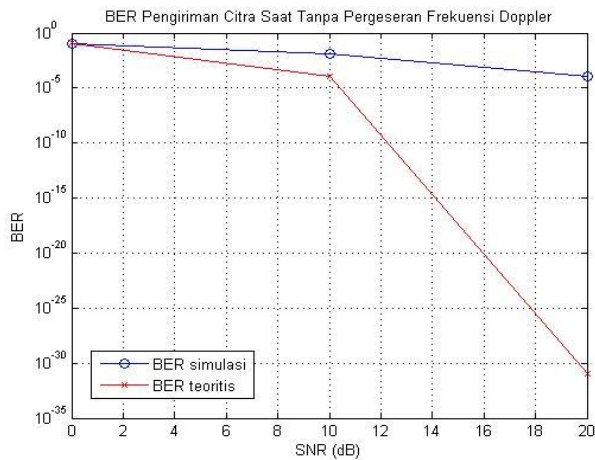
Disamping dari parameter BER dan RMSE, juga didapatkan parameter kualitas citra berdasarkan hasil pengamatan visual mata manusia. Data mengenai pengamatan visual mata manusia didapatkan dari proses survey dengan metode kuesioner. Dalam hal ini, dilakukan kuantisasi terhadap kualitas citra hasil proses modulasi GMSK.

Kuantisasi dilakukan dengan menskalakan kualitas citra hasil proses modulasi GMSK dalam skala angka 1 hingga 5. Dalam hal ini, skala angka tersebut merepresentasikan kualitas

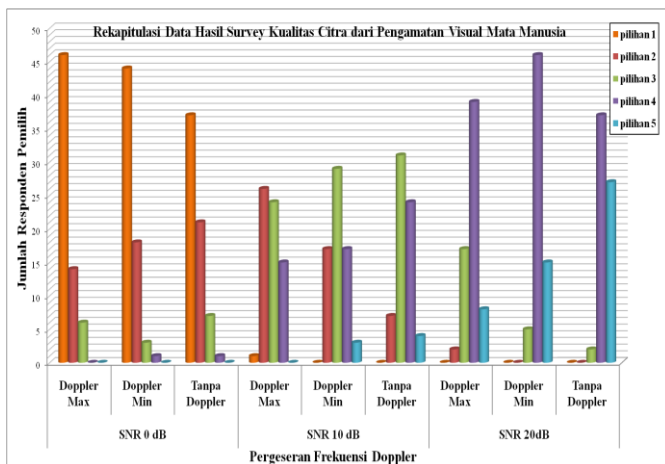
Tabel 3

BER Simulasi, Ber Teoritis, dan RMSE dari Pengiriman Citra saat Tanpa Pergeseran Frekuensi Doppler

SNR	BER Simulasi		RMSE	BER Teoritis
	Jumlah Bit Error	BER		
0	10068	0,102417	27,42913	0,5
10	1283	0,013051	9,106413	0,00011309
20	12	0,000122	0,535826	9,17E-08



Gambar 9. Grafik BER untuk Pentransmision Citra Tanpa Pergeseran Frekuensi Doppler



Gambar 10. Diagram Batang Rekapitulasi Hasil Survey mengenai Kualitas Citra Hasil Modulasi GMSK dilihat dari Pengamatan Visual Mata Manusia

citra dari yang paling buruk hingga yang paling baik. Berikut adalah penskalaan yang diberlakukan dalam kuesioner :

- 1) Angka 1 : kemiripan mencapai 0-20%,
- 2) Angka 2 : kemiripan mencapai 20-40%,
- 3) Angka 3 : kemiripan mencapai 40-60%,
- 4) Angka 4 : kemiripan mencapai 60-80%,
- 5) Angka 5 : kemiripan mencapai 80-100%.

Setelah melalui proses penyebaran kuesioner terhadap sivitas akademika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dengan responden sejumlah 66 orang, maka didapatkan data statistik yang terlihat pada Gambar 10.

Dari Gambar 10 tersebut, dapat dilihat bahwa saat SNR 0 dB, kecenderungan responden dalam menentukan kualitas

citra adalah cenderung pada pilihan 1, yakni sebesar 70% untuk Doppler *shift* maksimum, 67% untuk Doppler *shift* minimum, dan 56% saat tanpa Doppler *shift*. Saat SNR 10 dB, responden cenderung pada pilihan 3, yakni sebesar 36% untuk Doppler *shift* Maksimum, 44% untuk Doppler *shift* minimum, dan 47% saat tanpa Doppler *shift*. Saat SNR 20 dB, responden cenderung pada pilihan 4, yakni sebesar 59% untuk Doppler *shift* Maksimum, 70% untuk Doppler *shift* minimum, dan 56% saat tanpa Doppler *shift*. Dari Gambar 10, dapat disimpulkan bahwa adanya efek Doppler tidak berpengaruh besar terhadap kualitas citra hasil proses modulasi GMSK.

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan simulasi dan analisa data, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa pergeseran frekuensi Doppler (Doppler *shift*) yang terbesar adalah terjadi saat satelit berada pada posisi terjauh terhadap *ground station*, dimana besarnya Doppler *shift* maksimum adalah 51,1 kHz dan Doppler *shift* minimum adalah -49,9 kHz. Dari hasil simulasi, dapat disimpulkan bahwa ketiga kondisi yang telah dibuat ternyata tidak berpengaruh besar terhadap perubahan BER maupun RMSE. Saat SNR 10 dB, besarnya BER untuk kondisi pergeseran frekuensi Doppler maksimum adalah 0,0134888. Untuk nilai SNR yang sama, besarnya BER saat pergeseran frekuensi Doppler minimum adalah 0,01283773. Kondisi yang tidak jauh berbeda juga terjadi saat tanpa pergeseran frekuensi Doppler, dimana besarnya BER untuk SNR 10 dB adalah mencapai 0,013051.

Disamping dari simulasi, juga didapatkan data dari hasil survey bahwa kecenderungan responden dalam menentukan kualitas citra saat SNR 0 dB adalah cenderung pada pilihan 1. Saat SNR 10 dB, kecenderungan responden dalam menentukan pilihan adalah pada pilihan 3. Begitu juga saat SNR 20 dB, responden juga memiliki kecenderungan pada pilihan 4. Dari rekapitulasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa pergeseran frekuensi Doppler tidak memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap kinerja pengiriman citra satelit nano menuju stasiun bumi dengan menggunakan modulasi GMSK.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Roddy, Dennis., "Satellite Communication 3rd Edition", McGraw-Hill, USA, (2001).
- [2] INSPIRE, "Tentang INSPIRE" <URL : <http://www.inspire.or.id/web/>>, 2010, diakses tanggal 5 Februari 2011.
- [3] Hapsari, Dinda Ayu., "Analisis Kinerja Sistem komunikasi Kooperatif pada kanal Pita Lebar dengan Model Scatter Geometrik Elips", Teknik Elektro ITS, Surabaya, (2009).
- [4] Ali, Irfan., Hershey, John E., "Doppler Characterization for LEO Satellites", IEEE Transactions on Communication, Vol 46 No 3, Maret (1998).
- [5] Wijayanti, Riska Cahya., "Analisis Efek Doppler Pada Sistem Komunikasi Satelit Nano IiNUSAT", Teknik Elektro ITS, Surabaya, (2011).
- [6] Sampei, Seiichi., "Application of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communication", Prentice Hall PTR, (1997).