

Desain dan Implementasi Modulator GMSK 19200 Baud untuk Pengiriman Citra pada *Payload* Satelit Nano

Rheyuniarto Sahlendar Asthan, Suwadi, dan Gamantyo Hendrantoro
Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: suwadi@ee.its.ac.id; gamantyo@ee.its.ac.id

Abstrak—Satelit nano merupakan satelit mahasiswa pertama yang sedang dikembangkan di beberapa perguruan tinggi di Indonesia, salah satunya adalah Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Salah satu fungsi satelit tersebut adalah melakukan pengiriman citra pada lintasan *downlink* 2,4 GHz. Tugas Akhir ini dititikberatkan pada pembuatan modulator GMSK sebagai salah satu modul penyusun pada *payload* satelit. Tugas akhir ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan perangkat modulator GMSK 19200 baud untuk pengiriman citra pada dari satelit ke stasiun bumi penerima. Modulator GMSK dirancang melalui 2 tahapan, yaitu perancangan dan pembuatan filter Gaussian menggunakan CMX589A serta perancangan dan pembuatan modulator FM menggunakan NE568A dan NE5539. Filter Gaussian yang dirancang berukuran 4×4 cm sedangkan modulator FM berukuran 6,5×2,5 cm. Hasil pengujian dan pengukuran perangkat menunjukkan bahwa modulator GMSK mampu bekerja dengan kecepatan transmisi data sebesar 19200 baud. Besarnya *baudrate* yang dihasilkan telah memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan. Frekuensi keluaran modulator GMSK adalah frekuensi 11,71 MHz dengan *power spectral* -4 dBm. Dari segi ukuran dan konsumsi daya yang rendah, perangkat tersebut dapat ditempatkan pada *payload* satelit nano.

Kata Kunci—Satelit Nano, modulator GMSK, filter Gaussian, modulator FM

I. PENDAHULUAN

TEKNOLOGI satelit merupakan salah satu teknologi yang sangat berkembang di dunia. Tidak hanya diminati dan dikembangkan oleh institusi pemerintahan guna keperluan kenegaraan, kemajuan teknologi tersebut juga membawa pengaruh yang sangat besar bagi mahasiswa-mahasiswi perguruan tinggi di Indonesia untuk turut serta menciptakan dan mengembangkan satelit nano pertama di Indonesia.

Perangkat satelit yang telah ada difungsikan untuk melakukan fungsi *store & forward* data dari stasiun bumi A ke stasiun bumi B, melakukan fungsi *store & forward* data dari suatu alat komunikasi portabel ke suatu stasiun bumi pada lintasan *uplink* dengan frekuensi 145 MHz, serta mem-broadcast data satelit (*attitude, electronic system health, environment*) ke stasiun bumi pada lintasan *downlink* pada frekuensi 435 MHz[1]. Data yang dikirim adalah berupa pesan singkat dengan kecepatan transmisi data 1200 bps [1].

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya sebagai salah satu perguruan tinggi yang turut serta dalam pengembangan satelit nano merencanakan untuk mengembangkan kembali perangkat komunikasi yang telah

ada. Perangkat komunikasi yang direncanakan dimaksudkan untuk melakukan fungsi pengiriman citra pada frekuensi *S-band* yaitu 2,4 GHz. Sistem komunikasi untuk pengiriman citra tersebut bersifat simpleks dimana informasi berjalan hanya pada satu lintasan saja yaitu pada lintasan *downlink* dari satelit ke stasiun bumi penerima.

Perangkat yang digunakan untuk merealisasikan proyek tersebut terdiri beberapa modul penyusun, salah satunya adalah modulator-demodulator (modem) *baseband*. Modem pada sistem komunikasi satelit mengirimkan data digital dalam deretan bit yang panjang. Beberapa teknik yang dapat mendukung hal tersebut, diantaranya: 1) pemancar dan penerima pada frekuensi tinggi, 2) manajemen alokasi frekuensi yang baik, 3) penggunaan teknik pengkodean (*source encoding*) yang efisien, dan 4) penggunaan teknik modulasi dengan spektrum yang efisien. Skema modulasi yang mendukung beberapa teknik tersebut mengacu pada *Gaussian Minimum Shift Keying* (GMSK)[2]. Dengan menggunakan modulasi GMSK, kesalahan penerimaan data sebagai akibat dari pergeseran frekuensi Doppler tidak memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap kinerja pengiriman citra dari satelit nano menuju stasiun bumi penerima [3].

Makalah ini melaporkan mengenai desain dan implementasi modulator GMSK untuk pengiriman citra pada *payload* satelit nano, sedangkan desain dan implementasi demodulator GMSK pada *ground station* dilaporkan pada makalah [4]. Bab II menjelaskan mengenai teori penunjang yang berkaitan dengan desain dan implementasi perangkat, khususnya GMSK, dan modulator FM.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Gaussian Minimum Shift Keying* (GMSK)

GMSK merupakan penurunan dari modulasi *Minimum Shift Keying* (MSK), dimana *sidelobe* spektrum sinyal dihilangkan dengan cara melewati sinyal *Non-Return-to-Zero* (NRZ) ke *pre-modulation filter* sebelum proses modulasi sinyal menggunakan modulator MSK. *Pre-modulation filter* berfungsi sebagai *shaping filter* untuk membentuk sinyal NRZ yang tidak kontinu menjadi sinyal kontinu. Untuk menghasilkan spektrum daya yang kecil, maka *pre-modulation filter* harus memiliki *bandwidth* yang sempit dengan *cut-off* yang tajam untuk menekan komponen frekuensi tinggi, serta memiliki respon pulsa dengan *overshoot* rendah untuk menghindari simpangan frekuensi seketika yang terlalu besar.

Filter yang ideal dikenal sebagai filter Gaussian yang memiliki respon impuls sesuai karakter distribusi Gaussian klasik. Filter Gaussian akan mengurangi spektral sinyal tanpa mengurangi komponen frekuensi tinggi secara drastis jika menggunakan *low pass filter* (LPF) biasa. Untuk menghasilkan sinyal keluaran dengan spektrum yang efisien, filter Gaussian harus memenuhi kriteria : 1) *narrow bandwidth* dan *cut-off* yang tajam, 2) respon impuls menunjukkan penurunan level sinyal yang sekecil mungkin (*lower overshoot*), dan 3) pemeliharaan pulsa keluaran filter yang kompatibel untuk pergeseran fasa $\pi/2$ [5].

Filter Gaussian mempunyai respon impuls yang dinyatakan sebagai berikut [2] :

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

dimana, T adalah periode bit sedangkan σ kaitannya dengan *bandwidth* (B) 3 dB dari filter Gaussian, yaitu :

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

Dengan substitusikan persamaan (2) ke persamaan (1) maka fungsi filter Gaussian menjadi :

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

Tanggapan filter Gaussian terhadap sinyal kotak $m(t)$ dinyatakan pada persamaan (4),

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

Sinyal GMSK dapat dinyatakan pada persamaan (5),

$$S_{GMSK} = \cos\left[2\pi f_c t + \frac{\pi}{2T_b} \int_{-\infty}^t g(\tau) d\tau\right] \quad (5)$$

dimana, f_c dan T_b berturut-turut menyatakan frekuensi *carrier*, periode bit.

Parameter filter Gaussian GMSK ditentukan dengan menggunakan *bandwidth-time periode* (BT). Gambar 1 menunjukkan kurva spektrum daya sinyal GMSK untuk bermacam-macam BT. Pengurangan BT akan menambah *bit error rate* yang dihasilkan oleh *low pass filter* yang sepadan dengan *Inter-Symbol Interference* (ISI) sebagai akibat dari peningkatan efisiensi *bandwidth* akan ada degradasi dalam efisiensi daya. ISI dapat diabaikan jika $BT \geq 0,5$.

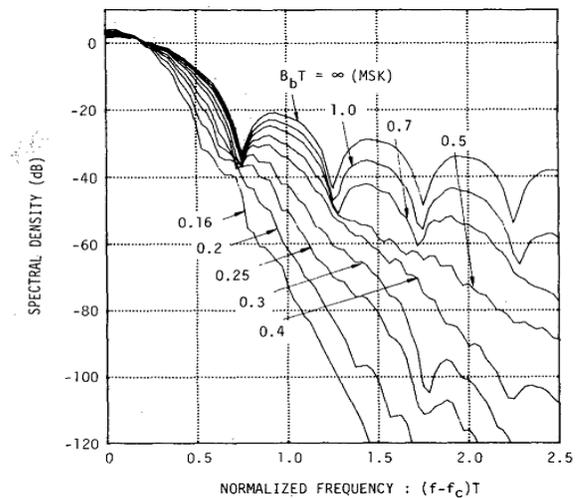
Metode yang digunakan untuk menghasilkan modulator GMSK ada 2. Metode pertama adalah dengan menggunakan filter gaussian dan modulator FM dengan mengatur indeks modulasi sebesar 0,5. Metode kedua adalah dengan menggunakan modulator I-Q. Metode quadratur ini dilakukan dengan mengatur beda fasa antar kedua sinyal (*inphase* dan *quadrature*) sebesar 90° .

B. Modulasi frekuensi(FM)

Modulasi frekuensi didefinisikan sebagai deviasi frekuensi sesaat sinyal pembawa sesuai dengan amplitudo sesaat sinyal pemodulasi. Sinyal pembawa dapat berupa gelombang sinus, sedangkan sinyal pemodulasi dapat berupa gelombang apa saja.

Jika diasumsikan sinyal informasi $x(t)$ adalah sinyal sinusoidal seperti yang ditunjukkan pada persamaan (6),

$$x(t) = A_m \cos \omega_m t \quad (6)$$



Gambar. 1. Kerapatan spektral daya sinyal GMSK [5]

dimana, A_m dan ω_m berturut-turut menyatakan amplitudo dan frekuensi sinyal pemodulasi.

$$\phi(t) = k_f A_m \cos \omega_m t \quad (7)$$

Persamaan (7) menyatakan deviasi fasa sesaat dari sinyal termodulasi, dimana k_f menyatakan deviasi frekuensi konstan. Dalam hal ini diasumsikan $\phi(-\infty) = 0$. Sinyal termodulasi FM direpresentasikan pada persamaan (8) [6],

$$x_c(t) = A_c \cos(\omega_c t + \beta \sin \omega_m t) \quad (8)$$

dimana, A_c dan ω_m berturut-turut menyatakan amplitudo dan frekuensi sinyal termodulasi FM.

Pada modulasi frekuensi sinyal pembawa diubah-ubah sehingga besarnya sebanding dengan besarnya amplitudo sinyal pemodulasi. Semakin besar amplitudo sinyal pemodulasi, maka semakin besar pula frekuensi sinyal termodulasi FM.

Indeks modulasi FM merupakan perbandingan antara deviasi frekuensi maksimum dengan sinyal pemodulasi. Besarnya indeks modulasi akan dimaksimalkan dengan cara mengatur besarnya deviasi frekuensi maksimal yang diizinkan. Indeks modulasi FM dinyatakan dalam persamaan (9),

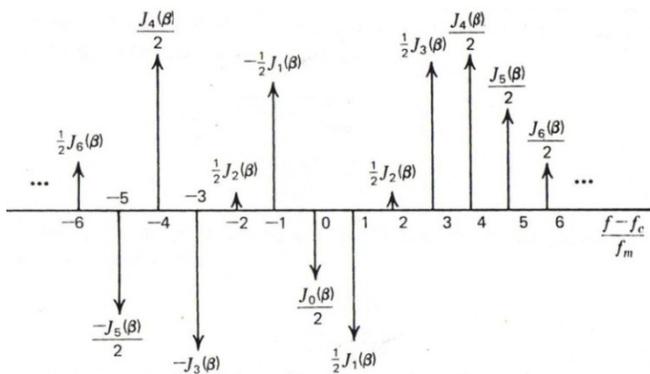
$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (9)$$

dimana, β = indeks modulasi

Δf = deviasi frekuensi

f_m = frekuensi sinyal pemodulasi

Spektrum sinyal FM terdiri dari komponen *carrier* dan komponen *sideband* pada frekuensi $f_c \pm n f_m$ ($n=1,2,3,\dots$). Spektrum sinyal FM merupakan nilai tak terbatas dari komponen diskrit spektral yang didasarkan pada penggunaan fungsi tabel Bessel. Amplitudo dari komponen spektral sinyal FM bergantung pada nilai $J_n(\beta)$. Pada saat $\beta \ll 1$, komponen spektrum terdiri dari komponen *carrier* dan komponen *sideband* J_0 dan J_1 . Semakin besar nilai β maka komponen *sideband* yang muncul akan semakin banyak [6].



Gambar. 2. Spektrum sinyal FM berdasarkan fungsi tabel Bessel [6]

Bandwidth yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sinyal FM bergantung pada banyaknya sideband yang muncul pada spektrum frekuensinya. Bandwidth yang digunakan dapat dihitung menggunakan persamaan (10) dan (11).

$$B = 2(f_m + \Delta f) \tag{10}$$

atau

$$B = 2f_m(1 + \beta) \tag{11}$$

Semakin banyak sideband yang muncul maka bandwidth transmisinya semakin besar. Artinya, indeks modulasi yang besar akan menghasilkan bandwidth yang besar pula.

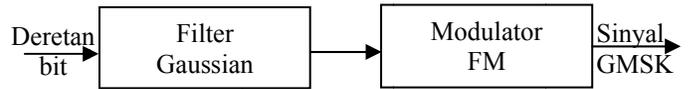
III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PERANGKAT

A. Penentuan Kriteria Perancangan

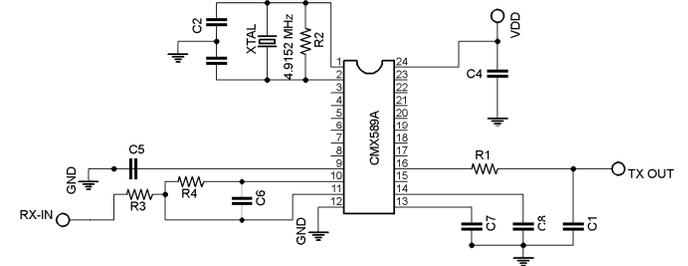
Perancangan modem GMSK diawali dengan menentukan kriteria perancangan. Penentuan kriteria perancangan meliputi kecepatan transmisi data, penggunaan bandwidth, serta intermediate frequency (IF) yang diinginkan.

Modulator GMSK dirancang dengan kecepatan transmisi data sebesar 19200 baud dan BT 0,5. Besarnya kecepatan transmisi data disesuaikan dengan besarnya kapasitas citra yang akan ditransmisikan untuk kamera dengan resolusi 2 MP atau setara dengan 1200×1600 piksel dengan format file yang telah terkompresi (jpg/jpeg). Karena GMSK termasuk modulasi binary maka besarnya baudrate sebanding dengan bit rate yaitu 19200 baud. Penggunaan BT 0,5 dimaksudkan untuk menghasilkan sinyal GMSK tanpa ISI pada saat proses pemfilteran. Penggunaan nilai BT ini juga berkaitan dengan efisiensi penggunaan spektrum frekuensi. Semakin besar nilai BT maka bandwidth yang digunakan akan semakin kecil.

Proses transmisi pada sistem komunikasi satelit pada range frekuensi tinggi 2,4 GHz, proses tranlasi frekuensi dari frekuensi rendah ke frekuensi tinggi atau sebaliknya dilakukan. Tranlasi frekuensi ini merupakan proses menghasilkan untuk sinyal IF. Tranlasi ini adalah dengan mixing frekuensi dari local oscillator (f_o) dengan frekuensi sinyal pemodulasi (f_m), dimana frekuensi local oscillator harus lebih besar dari frekuensi sinyal pemodulasinya sehingga nilai frekuensi IF menjadi (f_c±f_m). Frekuensi IF yang direncanakan adalah sebesar 70 MHz. Besarnya frekuensi IF disesuaikan dengan standar penggunaan frekuensi IF untuk sistem komunikasi satelit.



Gambar. 3. Perancangan modulator GMSK



Gambar. 4. Skematik rangkaian filter Gaussian

Tabel 1. Nilai komponen eksternal rangkaian filter Gaussian [7]

Komponen	Nilai
R1	91 kΩ
R2	1 MΩ
R3	10 kΩ
R4	100 kΩ
C1	120 pF
C2	33 pF
C3	33 pF
C4	0,1 μF
C5	1 μF
C6	22 pF
C7	68 pF
C8	68 pF

Tabel 2. Clock oscillator divider [7]

Input		Xtal/Frekuensi clock (MHz)					
Clk DivA	Clk DivB	24,576	8,192	4,9152	4,096	2,4576	2,048
		Data rate (kbps)					
0	0	192	64	38,4	32	19,2	16
0	1	96	32	19,2	16	9,6	8
1	0	48	16	9,6	8	4,8	4
1	1	24	8	4,8	4		

Ket: $\square \rightarrow$ Nilai ClkDiv A dan ClkDiv B yang digunakan

B. Perancangan dan Pembuatan Perangkat

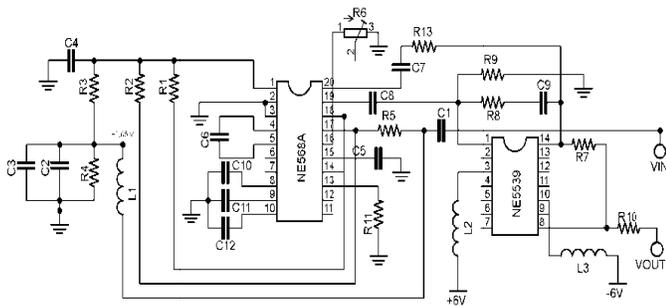
Perancangan dan pembuatan modulator GMSK terdiri dari 2 tahapan yaitu perancangan dan pembuatan filter Gaussian serta perancangan dan pembuatan modulator FM.

Pembuatan filter Gaussian dilakukan dengan menggunakan IC CMX589A. Skematik rangkaian filter Gaussian ditunjukkan pada Gambar 4.

Dalam perancangannya, dilakukan konfigurasi Pin pada clock oscillator divider yang didasarkan pada masukan level logika pada ClkDiv A (Pin 3) dan ClkDiv B (Pin 4). Untuk rate 19200 baud digunakan Xtal 4,9152 MHz dengan masukan berupa logika ‘0’ pada Pin 3 dan logika ‘1’ pada Pin 4 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Modulator FM dirancang sebagai pendekatan dari MSK dengan mengatur indeks modulasi (β) sebesar 0,5 [5]. Besarnya indeks modulasi ini akan dimaksimalkan dengan cara mengatur besarnya deviasi frekuensi. Besarnya deviasi frekuensi untuk β = 0,5, f_m = 9600 Hz adalah

$$\Delta f = \beta \times f_m = 0,5 \times 9600 = 4800 \text{ Hz}$$



Gambar. 5. Skematik rangkaian modulator FM

Tabel 3.

Nilai komponen eksternal rangkaian modulator FM [8]

Komponen	Nilai	Komponen	Nilai
R1, R2	2,7 kΩ	C2	100 pF
R3	1,8 kΩ	C3	4,7 μF
R4	2 kΩ	C4	0,1 μF
R5	30 kΩ	C5	100 pF
R6	2 kΩ	C6	18 pF
R3	1,8 kΩ	C7	0,01 μF
R7, R9	1 kΩ	C8	0,01 μF
R8	100 Ω	C9	82 pF
R10	75 Ω	C10	0,1 μF
R11	3,9 kΩ	C11	0,1 μF
R12	18 kΩ	C12	0,1 μF
R13	2 kΩ	L1, L2, L3	10 μH
C1	0,1 μF		

Bandwidth modulator FM berdasarkan aturan Carson:

$$B = 2(\beta + 1)f_m = 2(0,5 + 1)9600 = 28800 \text{ Hz}$$

Berdasarkan fungsi tabel Bessel, untuk indeks modulasi 0,5 *sidelobe* yang muncul pada spektrum sinyal FM adalah 2, yaitu *Upper Side Band* (USB) dan *Lower Side Band* (LSB).

$$USB = f_c + f_m = 70 + (9,6 \times 10^{-3}) = 70,0096 \text{ MHz}$$

$$LSB = f_c - f_m = 70 - (9,6 \times 10^{-3}) = 69,9904 \text{ MHz}$$

maka besarnya *bandwidth* berdasarkan fungsi tersebut adalah

$$B = 2(n \times f_m) = 2(2 \times 9600) = 38400 \text{ Hz}$$

Modulator FM dirancang untuk menghasilkan sinyal IF pada frekuensi 70 MHz. Tipe IC yang digunakan untuk merealisasikan modulator FM adalah IC NE568A yang diintegrasikan dengan IC NE5539. Rangkaian modulator FM ditunjukkan pada Gambar 5.

Frekuensi keluaran dari modulator FM ditentukan oleh kapasitor (C6) pada Pin 4 dan Pin 5. Agar dapat menghasilkan frekuensi IF sebesar 70 MHz, maka digunakan kapasitor :

$$C6 = \frac{0,0013}{70000} = 1,857 \times 10^{-8} \text{ F} \approx 18 \text{ pF}$$

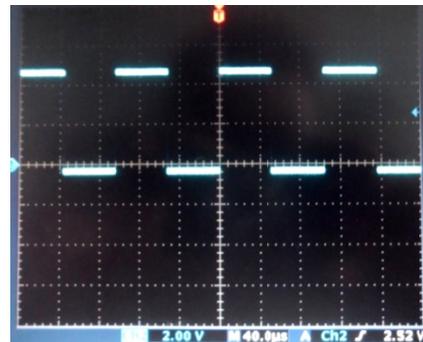
Sedangkan nilai komponen lainnya disesuaikan dengan nilai yang tertera pada datasheet IC.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

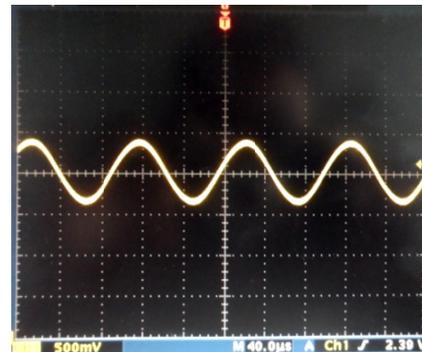
Pengujian dan pengukuran alat dilakukan dengan melihat sinyal keluaran baik pada domain waktu maupun domain frekuensi.

Tabel 4.
Konfigurasi Pin pada IC CMX589A

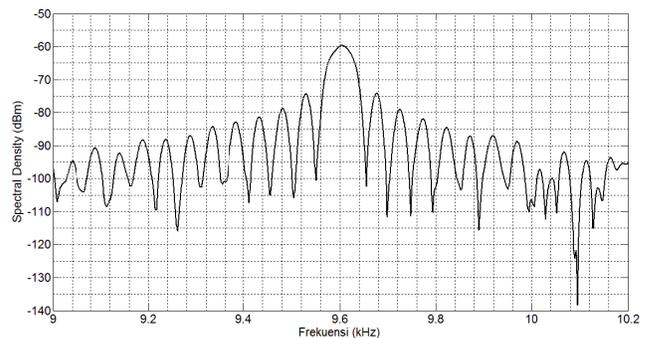
Pin	Sinyal	Konfigurasi
3	ClkDiv A	0
4	ClkDiv B	1
15	BT	1
17	TX-Enable	1



Gambar. 6. Sinyal masukan filter Gaussian



Gambar. 7. Hasil pengujian filter Gaussian pada domain waktu



Gambar. 8. Hasil pengujian filter Gaussian pada domain frekuensi



Gambar. 9. Hasil pengujian TX_{clk}

A. Pengujian dan Pengukuran Filter Gaussian

Untuk memenuhi ketentuan penggunaan BT 0,5 dan kecepatan transmisi data 19200 baud, dilakukan konfigurasi terlebih dahulu pada beberapa Pin IC. Konfigurasi Pin ditunjukkan pada Tabel 4. Konfigurasi logika ‘1’ dihubungkan ke *supply* 5V, logika ‘0’ dihubungkan ke *ground*. Sinyal masukan dari filter Gaussian berupa sinyal kotak dihubungkan ke Pin TX_{DATA} dengan frekuensi 9600 Hz (19200 baud).

Hasil pengujian filter Gaussian pada domain frekuensi dan domain frekuensi ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Dari data hasil pengujian, perubahan sinyal kotak setelah melewati *pre-modulation filter* menghasilkan sinyal yang menyerupai sinyal sinusoidal dengan $V = 500 \text{ mV} \times 1,6 \text{ div} = 0,8V_{p-p}$ dan $T = 40 \mu\text{s} \times 2,6 \text{ div} = 0,104 \text{ ms}$.

Jika dilihat dari domain frekuensi (Gambar 8), sinyal keluaran filter Gaussian berada pada frekuensi 9,601 kHz dengan *power spectral* sebesar -59,53 dBm. *Half power bandwidth* yang terukur adalah $\pm 41\text{Hz}$.

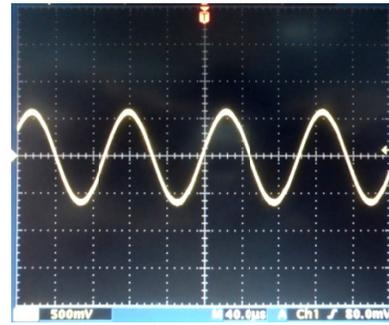
Pengukuran *baudrate* ditunjukkan pada Gambar 9. Pengukuran *baudrate* tersebut dilakukan melalui proses pengujian TX_{clk}, dimana hasil pengujian tersebut menghasilkan sinyal *clock* dengan frekuensi 19200 Hz. Besarnya frekuensi *clock* ini menyatakan besarnya *baudrate* yang digunakan yaitu 19200 baud. Pengujian dan Pengukuran Modulator FM

Pengujian dan pengukuran modulator FM dilakukan dengan menginputkan sinyal masukan dari signal generator (mode sinyal sinusoidal) frekuensi 9600 Hz seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10. Perangkat yang telah dibuat kemudian diberikan *supply* tegangan. *Supply* tegangan pada Pin10 (IC NE5539) diset $\pm 6V$, sedangkan titik cabang R4 dan L1 di *supply* tegangan sebesar 2,65V.

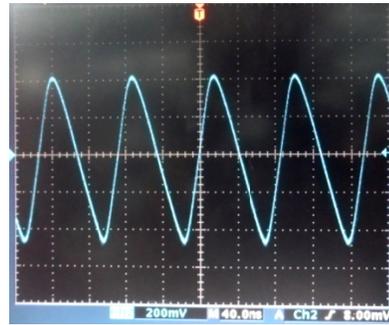
Dari data hasil pengujian, diperoleh sinyal FM dengan $V=0,92V_{p-p}$ dan $T=86,7\text{ns}$ seperti pada Gambar 11. Frekuensi dari sinyal tersebut adalah 11,53 MHz. Jika dibandingkan dengan sinyal masukan yang memiliki frekuensi $\pm 9,6 \text{ kHz}$ dengan $V=1,3V_{p-p}$ dan $T=104,19\mu\text{s}$, sinyal keluaran modulator FM mengalami distorsi dan penurunan level amplitudo sebesar $0,38V_{p-p}$. Jika dilihat dari domain frekuensi (Gambar 12), frekuensi tengah yang terukur adalah 11,25 MHz dengan *half power bandwidth* $\pm 32 \text{ kHz}$.

B. Pengujian dan Pengukuran Modulator GMSK

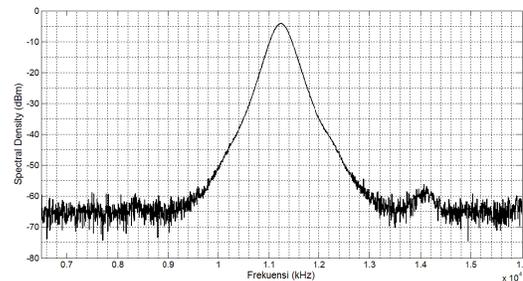
Pengujian dan pengukuran modulator GMSK dilakukan dengan mengintegrasikan filter Gaussian dengan modulator FM. Hasil pengujian modulator GMSK pada domain waktu menghasilkan sinyal dengan $V=0,42V_{p-p}$ dan $T= 85,69 \text{ ns}$. Level tegangan tersebut jauh lebih kecil dibandingkan level tegangan sinyal masukannya yaitu $V=5V_{p-p}$. Dalam hal ini, sinyal masukan mengalami penurunan level amplitudo 91,6%. Sinyal keluaran dari modulator FM juga mengalami distorsi. Penurunan level amplitudo dan distorsi sinyal disebabkan karena rugi-rugi penggunaan konektor pada saat diintegrasikan dengan filter Gaussian.



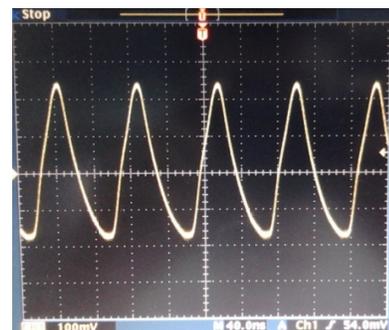
Gambar. 10. Sinyal masukan modulator FM



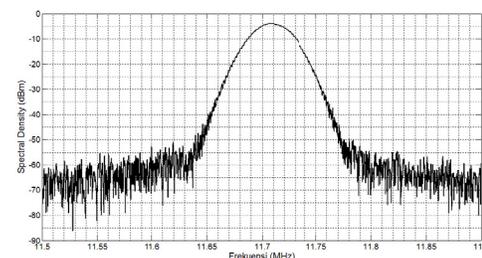
Gambar. 11. Hasil pengujian modulator FM pada domain waktu



Gambar. 12. Hasil pengujian modulator FM pada domain frekuensi



Gambar. 13. Hasil pengujian modulator GMSK pada domain waktu



Gambar 14. Hasil pengujian modulator GMSK pada domain frekuensi

Gambar 14 merupakan hasil pengujian modulator GMSK pada domain frekuensi. Frekuensi yang terukur dari hasil pengujian adalah 11,71 MHz dengan *power spectral* -4 dBm. *Half power bandwidth* yang terukur pada -7 dBm adalah ± 30 kHz. *Bandwidth* yang terukur lebih kecil dibandingkan *bandwidth* sebelum diintegrasikan dengan filter Gaussian. Hasil pengujian modulator GMSK jika dibandingkan dengan pengukuran modulator FM (Gambar 12) menunjukkan adanya pergeseran frekuensi. Pergeseran frekuensi ini disebabkan karena pada saat proses pengujian perangkat, konektor yang menghubungkan antara alat ukur (osiloskop maupun spectrum analyzer) memiliki impedansi yang tidak *match* sehingga frekuensi yang terukur tidak stabil (berubah-ubah). Penambahan *dummy load* dapat digunakan untuk menghasilkan frekuensi yang tidak berubah-ubah.

Berdasarkan hasil pengujian dan pengukuran, besarnya frekuensi IF yang dihasilkan belum memenuhi kriteria perancangan pada Bab III. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem PLL (*phase-locked-loop*) dari IC yang digunakan tidak dapat mengunci frekuensi yang diinginkan. Sistem PLL ini dipengaruhi oleh perubahan *Voltage Controlled Oscillator* (VCO), dimana daerah frekuensi VCO (*lock-in-range*) tidak stabil sehingga proses *lock-in* PLL terhadap sinyal masukannya tidak berada pada daerah frekuensi *capture*. Ketidakstabilan VCO disebabkan karena pada saat proses pengujian dan pengukuran dilakukan, perangkat yang di uji berada pada kondisi terbuka. Disisi lain, kestabilan VCO sangat dipengaruhi oleh perubahan suhu.

C. Diskusi

Desain dan implementasi modulator GMSK dilakukan 2 tahapan, yaitu perancangan filter gaussian menggunakan CMX589A, serta perancangan modulator FM menggunakan NE568A. Perangkat filter Gaussian dan modulator FM kemudian diintegrasikan menghasilkan modulator GMSK. Perangkat filter gaussian yang telah dibuat berukuran 4×4 cm sedangkan perangkat modulator FM berukuran $6,5 \times 2,5$ cm dengan konsumsi daya yang rendah. Apabila dilihat dari kebutuhan satelit nano itu sendiri, perangkat yang dihasilkan dapat ditempatkan pada *payload* satelit nano. Modulator GMSK mampu bekerja dengan kecepatan transmisi data 19200 baud. Besarnya kecepatan transmisi data tersebut dapat digunakan untuk melakukan pengiriman citra untuk kamera 2 MP (1200×1600 piksel) sesuai dengan spesifikasi yang dirancang untuk sistem komunikasi satelit nano. Modulator GMSK pada dasarnya dirancang untuk menghasilkan sinyal dengan IF 70 MHz, hanya saja dalam implementasinya perangkat yang dibuat hanya mampu menghasilkan sinyal keluaran pada frekuensi 11,71 MHz, *power spectral* -4 dBm dengan *bandwidth* ± 30 kHz. Frekuensi IF yang dihasilkan belum memenuhi standar frekuensi IF yang berlaku, terutama untuk sistem yang bekerja pada frekuensi *S-band*.

V. KESIMPULAN

Desain dan implementasi modulator GMSK untuk pengiriman citra pada *payload* satelit nano menggunakan filter Gaussian dan modulator FM bekerja pada frekuensi 11,71 MHz dengan *bandwidth* ± 30 kHz dan kecepatan transmisi data 19200 baud. *Power spectral* dari modulator GMSK adalah -4

dBm. Dari segi ukuran dan konsumsi daya yang rendah, perangkat tersebut dapat ditempatkan pada *payload* satelit nano.

LAMPIRAN

GAMBAR PENGUJIAN MODULATOR-DEMODULATOR GMSK



UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim penelitian strategis nasional 2012 Kemdikbud “Pengembangan stasiun bumi untuk komunikasi data, citra dan video dengan satelit LEO VHF/UHF/S-band menuju kemandirian teknologi satelit” yang telah memberikan dukungan finansial.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IiNUSAT. *Preliminary Design Review*. 2010.
- [2] Tsai, Ken, dkk., “Gaussian Minimum Shift Keying Modulator”, IEEE Journal, 2012.
- [3] Habibi, Muhammad Rizal., “Evaluasi Kinerja Sistem *Gaussian Minimum Shift Keying* (GMSK) untuk Pengiriman Citra dari Satelit Nano ke Stasiun Bumi”, Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2012.
- [4] Indahsari, Ikhwanti., “Perancangan dan Implementasi Demodulator GMSK untuk Pengiriman Citra pada Sistem Komunikasi Satelit Nano 2,4 GHz”, Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2013.
- [5] Murota, Kazuaki., Hirade, Kenkichi., “GMSK Modulation for Digital Mobile Radio Telephony”, IEEE Transactions On Communication Vol. Com-29, 1981.
- [6] Shanmugam, Sam K., “Digital And Analog Communication Systems”, University of Kansas.
- [7] CML Microcircuits., “CMX589A GMSK Modem”, CML Microsystems Plc, 2002.
- [8] Philips Semiconductors, “The NE568A as a wideband FM modulator”, January, 1996.