

Perancangan dan Realisasi Generator Pulsa pada *Ground Penetrating Radar (GPR)*

Trasma Yunita¹ Heroe Wijanto² Budi Prasetya³

1) Fakultas Teknik dan Sains UIN Sunan Gunung Djati

Kampus UIN SGD Cibiru Bandung INDONESIA trasma_yunita@yahoo.com

2 & 3) Fakultas Teknik Elektro Institut Teknologi Telkom

Kampus ITT Jl. Telekomunikasi no.1 Bandung INDONESIA hrw@sttelkom.ac.id, bpy@sttelkom.ac.id

Abstract - Perkembangan teknologi elektromagnetik yang sangat cepat dalam beberapa tahun terakhir telah melahirkan sebuah metode baru dalam bidang ilmu geofisika eksplorasi, yaitu *Ground Penetrating Radar (GPR)*. *Ground Penetrating Radar (GPR)* merupakan metode geofisika dengan menggunakan teknik elektromagnetik yang dirancang untuk mendeteksi objek yang terkubur di dalam tanah dan mengevaluasi kedalaman objek tersebut. GPR juga dapat digunakan untuk mengetahui kondisi dan karakteristik permukaan bawah tanah tanpa mengebor ataupun menggali tanah.

Sistem GPR terdiri atas pengirim (*transmitter*), yaitu antena yang terhubung ke sumber pulsa (generator pulsa) dan *high voltage supply* dengan adanya pengaturan *timing circuit*, dan bagian penerima (*receiver*), yaitu antena yang terhubung ke LNA dan ADC yang kemudian terhubung ke unit pengolahan (*data processing*) serta *display* sebagai tampilan *output*-nya. Generator pulsa merupakan komponen penting untuk menghasilkan pulsa yang sesuai dengan aplikasi GPR, dimana kedalaman maksimum objek yang akan dideteksi tergantung kepada karakteristik pulsa yang digunakan dan profil tanah yang dilewati/ditembus. Pada penelitian ini telah dirancang dan diimplementasikan rangkaian generator pulsa pada GPR untuk deteksi objek bawah tanah. Pulsa yang dihasilkan berbentuk monocycle dengan frekuensi (100 ± 25) MHz dan lebar pulsa ± 15 ns. Untuk beberapa jenis tanah yang dianalisis, kedalaman maksimum yang dapat ditempuh oleh pulsa adalah 212 meter (pada tanah *clayey dry* dengan $\epsilon_r = 6$, $\mu_r = 0.25$ dan $\sigma = 0.0001$), sedangkan kedalaman minimum adalah 11 cm (pada tanah *sandy wet* dengan $\epsilon_r = 15$, $\mu_r = 2.5$ dan $\sigma = 0.1$). Sementara nilai resolusi GPR yang tertinggi adalah 55 cm (pada tanah *sandy wet* dengan $\epsilon_r = 30$) dan yang terendah adalah 1.5 meter (pada tanah *sandy dry*, *loamy dry* dan *clayey dry* dengan $\epsilon_r = 4$).

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi elektromagnetik yang sangat cepat dalam beberapa tahun terakhir telah melahirkan sebuah metode baru dalam bidang ilmu geofisika eksplorasi, yaitu *Ground Penetrating Radar (GPR)*. Metode GPR sangat intensif digunakan di darat untuk memetakan struktur bawah permukaan, pencarian benda-benda arkeologi, pipa, kabel, dan bahan mineral di dalam tanah.

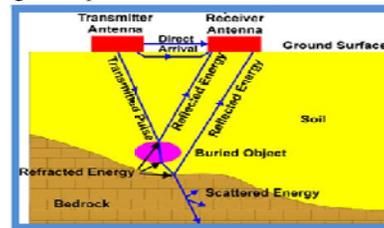
Ground Penetrating Radar (GPR) merupakan sistem radar yang digunakan dalam pendeteksian objek yang terkubur di dalam tanah. Proses pendeteksian dilakukan dengan memancarkan suatu impuls elektromagnetik. Impuls ini akan merambat di dalam tanah dan dipantulkan oleh objek. Posisi dan bentuk objek akan dapat diketahui dari sinyal pantul yang secara terus menerus dikirimkan oleh objek tersebut. Impuls radar untuk mendeteksi objek terkubur dihasilkan oleh sebuah generator pulsa. Generator pulsa merupakan perangkat *transmitter* dari sistem GPR, yang dicatu oleh *high voltage supply*.

2. Dasar Teori

2.1 Prinsip Kerja GPR^[6]

Pada dasarnya GPR bekerja dengan memanfaatkan pemantulan sinyal. Semua sistem GPR pasti memiliki rangkaian pemancar (*transmitter*), yaitu sistem antena yang terhubung ke sumber impuls (*pulse generator*), dan rangkaian penerima (*receiver*), yaitu sistem antena yang terhubung ke unit pengolahan sinyal. Rangkaian pemancar akan menghasilkan impuls listrik dengan bentuk, *prf* (*pulse repetition frequency*), energi, dan durasi tertentu.

Impuls ini akan dipancarkan oleh antena ke dalam tanah. Kemudian impuls elektromagnetik akan mengalami atenuasi dan cacat sinyal lainnya selama perambatannya di dalam tanah. Jika tanah bersifat homogen, maka sinyal yang dipantulkan akan sangat kecil. Jika impuls menabrak suatu inhomogenitas di dalam tanah, maka akan ada sinyal yang dipantulkan ke antena penerima. Sinyal ini kemudian diproses oleh rangkaian penerima.



Gambar 2.1 Ilustrasi Sistem GPR

Kedalaman objek dapat diketahui dengan mengukur selang waktu antara pemancaran dan penerimaan impuls. Dalam selang waktu ini, impuls akan bolak balik dari antena ke objek dan kembali lagi ke antena.

Untuk mengetahui kedalaman objek yang dideteksi, kecepatan perambatan dari gelombang elektromagnetik haruslah diketahui. Kecepatan perambatan tersebut tergantung kepada kecepatan cahaya di udara, konstanta dielektrik relatif medium perambatan.

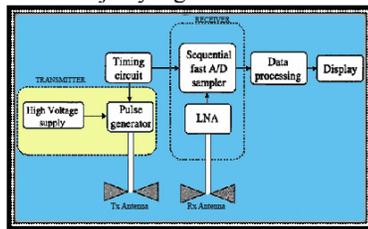
$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Konstanta propagasi dihitung untuk menentukan redaman propagasi, nilainya tergantung kepada nilai permitivitas dielektrik tanah (ϵ), permeabilitas magnetik tanah (μ), dan konduktivitas listrik tanah (σ).

$$\dots \dots \dots (2.2)$$

2.1.2 Komponen GPR^[6]

Sistem GPR terdiri atas pengirim (*transmitter*), yaitu antenna yang terhubung ke sumber pulsa (generator pulsa) dengan adanya pengaturan *timing circuit*, dan bagian penerima (*receiver*), yaitu antenna yang terhubung ke LNA dan ADC yang kemudian terhubung ke unit pengolahan (*data processing*) serta *display* sebagai tampilan *output*-nya. Mula-mula sinyal impuls dihasilkan oleh *pulse generator*, kemudian dipancarkan melalui antenna pemancar. Pulsa mengenai objek/*clutter* dan dipantulkan kembali ke antenna penerima, lalu melewati proses *sampling*, pengolahan sinyal, dan terakhir sampai pada blok *display* dimana kita dapat melihat bentuk dan kedalaman objek yang dideteksi.



Gambar 2.2 Diagram Blok GPR (Bagian yang direalisasikan: Kuning)

Faktor yang mempengaruhi jenis sinyal dan antenna yang digunakan yaitu:

1. Jenis objek yang akan dideteksi
2. Kedalaman objek
3. Karakteristik elektrik medium tanah atau properti elektrik

2.1.3 Parameter GPR^[5]

Tabel 2.1 Parameter GPR

Parameter	Simbol	Formula
Fractional Bandwidth	$\frac{B}{f_c}$	$= \frac{B}{f_c}$
Frequency Step Interval	Δf	$= \frac{B}{(n-1)}$
Range Resolution	ΔR	$= \frac{v}{(2B)}$
Time Resolution (two way)	Δt	$= \frac{1}{B}$

Max Unambiguous Range	R_{MAX}	$= \frac{v}{(2\Delta f)}$
Pulse Repetition Frequency	PRF	$= \Delta f$
Pulse Repetition Interval	PRI	$= \frac{1}{PRF}$

Tabel 2.2 Permittivitas Dielektrik, Permeabilitas Magnetik, dan Konduktivitas Listrik Beberapa Jenis Tanah^[5]

	sandy dry	sandy wet	loamy dry	loamy wet	clayey dry	clayey wet
ϵ_r (F/m)	4 - 6	15 - 30	4 - 6	10 - 20	10 - 15	4 - 6
μ_r (H/m)	5	2.5	1.3	0.8	0.25	0.05
σ (S/m)	0.0001 - 0.01	0.01 - 0.1	0.0000001 - 0.001	0.01 - 0.1	0.1 - 1	0.0001 - 0.1

2.1.4 Sensor GPR: Video Impulse Radar (VIR)^[10]

Video Impuls Radar (VIR), sistem ini dikembangkan untuk misi penetrasi tanah. Kelebihan VIR adalah *dynamic range receiver* yang rendah dibutuhkan untuk memisahkan clutter, bentuk gelombang yang memiliki durasi pendek dan resolusi yang tinggi hanya membutuhkan sedikit pengolahan.

Karakter impuls yang dipancarkan akan mempengaruhi performansi sistem GPR dan desain antenna. Kedalaman penetrasi dan resolusi sangat dipengaruhi oleh durasi impuls. Impuls yang lebar akan menghasilkan frekuensi yang lebih rendah dari impuls yang sempit. Frekuensi yang lebih rendah akan mengalami redaman yang lebih kecil di dalam tanah. Sehingga impuls yang lebih lebar mampu menembus tanah lebih dalam. Akan tetapi resolusi yang dihasilkan oleh impuls lebar lebih buruk dari impuls sempit.

2.2 Ultra Wide - Band (UWB)

Ultra-wideband (UWB, ultra-wide band, ultraband) berdasarkan definisi modern [F.C.Committee, FCC: *First Report and Order*, April 22, 2002] transmitter UWB merupakan radiator yang memiliki *fractional bandwidth* ekuivalen dengan atau lebih besar dari 0.2 (20%). UWB dapat digunakan pada level energi yang sangat rendah untuk komunikasi *range* pendek dan bandwidth lebar.

2.3 Series-FED CLASS A Amplifier^{[2]&[8]}

Jika kita berikan suatu tegangan tertentu pada gerbang BE (V_{BE}), maka akan mengalir arus (I_B), I_B sebagai fungsi dari tegangan V_{BE} dikatakan sebagai karakteristik masukan dari transistor. Jika diandaikan ada arus basis yang mengalir, jika tegangan (V_{CE}) diperbesar dari nol, maka arus kolektor (I_C) akan membesar secara linier, sampai pada batas tertentu, transistor akan mengalami saturasi, perbesaran V_{CE} tidak akan memperbesar I_C lagi (perbesarannya tidak signifikan).

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{Daya input} = V_{CC} \cdot I_{CQ} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{Daya output} = P_o = V_{CE} \cdot I_C \dots\dots\dots(2.7)$$

3. Perancangan dan Realisasi Generator Pulsa

3.1 Pemilihan Frekuensi Generator Pulsa
 Sistem *Ground Penetrating Radar* (GPR) yang akan direalisasikan adalah pada frekuensi (f_c) 200 MHz.

3.2 Rancangan Pulsa Monocycle

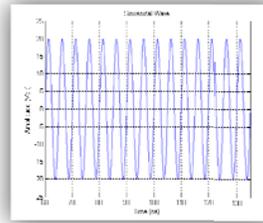
- Lebar pulsa : $t_c = \frac{1}{f_c} = \frac{1}{200 \cdot 10^6} = 5ns$
- Berdasarkan syarat UWB, dimana $B_f = \frac{B}{f_c} = \frac{B}{200 \cdot 10^6} > 0.2$ sehingga $B > 0.2 \times 200 \cdot 10^6 > 40MHz$, maka *bandwidth* perancangan yang digunakan adalah 50 MHz, karena mempertimbangkan *bandwidth* antenna transmisi.
- Sehingga $f_L = 175MHz$ dan $f_U = 225MHz$ dengan $f_c = 200MHz$.
- Fractional bandwidth = $\frac{B}{f_c} = \frac{50MHz}{200MHz} = 0.25 > 0.2$
- Daya keluaran generator pulsa (*mean pulse power*) adalah 20 mW = 13 dBm, dengan mempertimbangkan sensitivitas LNA dan redaman propagasi di dalam tanah.
- Kemudian dengan *peak pulse voltage* 1 V dan arus 260 mA dihasilkan *peak pulse power* = 260 mW.
- Berdasarkan buku *Surface Penetrating Radar* karangan D.J.Daniels (1996: 265):

$$\text{mean_pulse_power} = \frac{t_c}{T} = \frac{5 \cdot 10^{-9}}{T} \times 260mW = 20mW.$$
 Sehingga diperoleh jarak/interval antar pulsa sebesar $pri = T = 65ns$.
- Lalu didapatkan nilai *pulse repetition frequency* (prf) = $\frac{1}{65 \times 10^{-9}} = 15.38MHz$.
- *Time Resolution two way* (Δt) = $\frac{1}{B} = \frac{1}{50 \cdot 10^6} = 20ns$.

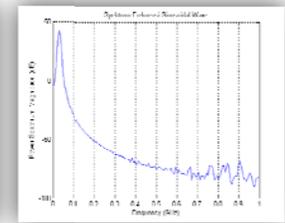
3.3 Rancangan Pulsa Monocycle dengan Software MATLAB 7.0.1

3.3.1 Sinyal Sinusoidal

Langkah awal untuk menghasilkan pulsa monocycle adalah dengan cara membangkitkan sinyal sinusoidal dengan frekuensi 200MHz dan periode 5ns menggunakan *software* Matlab 7.0.1.

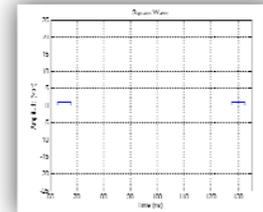


Gambar 3.1 Sinyal Sinusoidal Frekuensi 200MHz
Gambar 3.2 Spektrum Frekuensi Sinyal Sinusoidal Frekuensi 200 MHz

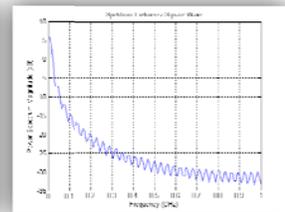


3.3.2 Pulsa Kotak

Langkah kedua yang dilakukan adalah membangkitkan pulsa kotak periodik dengan $T_{HIGH} = 5ns$, $T_{LOW} = 60ns$, dan periode pulsa 65ns. Seperti halnya sinyal sinusoidal, spektrum frekuensi pulsa kotak juga di-plot untuk mengetahui *bandwidth* pulsa.



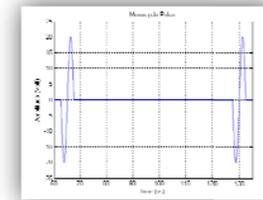
Gambar 3.3 Pulsa Kotak Periodik dengan $T_{HIGH} = 5ns$ & $T_{LOW} = 60ns$



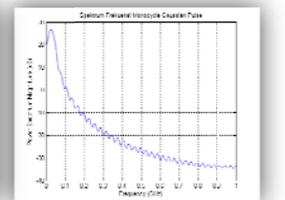
Gambar 3.4 Spektrum Frekuensi Pulsa Kotak Periodik dengan periode 65ns

3.3.3 Pulsa Monocycle

Langkah terakhir yang dilakukan untuk menghasilkan pulsa monocycle periodik seperti yang diharapkan adalah dengan mengalikan kedua sinyal yang telah dibangkitkan sebelumnya, yaitu sinyal sinusoidal dan pulsa kotak periodik. Pulsa yang dihasilkan memiliki lebar pulsa sebesar 5ns dan periode pulsa (*Pulse Repetition Interval – pri*) sebesar 65ns, sama dengan T_{HIGH} dan periode pada pulsa kotak.



Gambar 3.5 Pulsa Monocycle dengan Lebar Pulsa 5ns & *Pulse Repetition Interval* (pri) 65ns



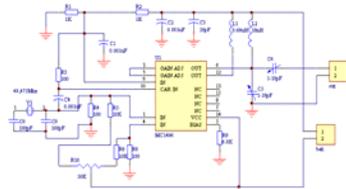
Gambar 3.6 Spektrum Frekuensi Pulsa Monocycle dengan Lebar Pulsa 5ns & pri 65ns

3.4 Desain dan Implementasi Rangkaian Generator Sinyal Sinusoidal

Generator sinyal yang diimplementasikan pada penelitian ini menggunakan osilator Kristal sebagai pembangkit sinyal sinus. Alasan penggunaan Kristal

adalah karena sinyal yang dihasilkannya umumnya lebih stabil. Kemudian karena di pasaran tidak tersedia osilator Kristal 200MHz, maka didesainlah rangkaian pengali frekuensi dengan menggunakan IC MC1496. Karena IC tersebut hanya sanggup berfungsi sebagai pengali dua (*doubler*), maka digunakan rangkaian *doubler* bertingkat. Yang pertama bertujuan untuk mengalikan frekuensi dari nilai osilator Kristal yaitu 49.475 MHz (Kristal 50MHz dan 100MHz tidak ditemukan di pasaran) menjadi 98.95MHz dan yang kedua adalah untuk mengalikan frekuensi yang telah diperoleh yaitu 98.95MHz menjadi 197.9MHz (mendekati frekuensi yang diharapkan, 200MHz). Kemudian seperti generator sinyal lainnya, dibutuhkan catuan DC (*power supply*) untuk mengaktifkan osilator Kristal. Pada penelitian ini digunakan catuan DC sebesar 12Volt. Perancangan Printed Circuit Board (PCB) menggunakan *software* Altium DXP.

3.5 Desain dan Implementasi Rangkaian Generator Pulsa Kotak

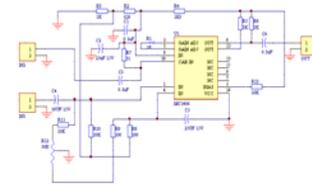


Gambar 3.7 Rangkaian Multiplier (Doubler) Frekuensi 49.475MHz menjadi 98.95MHz

Pulsa kotak didesain dengan menggunakan blok FPGA (*Field Programmable Gate Array*). Tetapi FPGA ternyata hanya mampu menghasilkan pulsa dengan lebar pulsa 10ns (frekuensi clock 100MHz), tidak sanggup untuk frekuensi lebih tinggi dari itu. Pertama, dilakukan proses penanaman program ke blok FPGA dengan menggunakan *software* Xilinx ISE dan diimplementasikan dengan *Logic Analyzer* LA2124A. Setelah program ditanam, hasil pulsa yang telah diimplementasikan tersebut dapat dilihat dengan menggunakan osiloskop. Pulsa kotak yang dirancang dan direalisasikan pada penelitian ini memiliki lebar pulsa 10ns dan periode 70ns.

3.6 Desain dan Implementasi Rangkaian Pencampur Sinyal Sinus dan Pulsa Kotak (*Mixer*)

Rangkaian *mixer* yang didesain untuk menggabungkan sinyal sinus dengan pulsa kotak yaitu dengan menggunakan IC MC1496. Karena IC tersebut juga dapat berfungsi sebagai *balanced modulator*. Dimana tujuannya adalah untuk menghasilkan pulsa *monocycle* dengan cara menggabungkan sinyal sinus dengan pulsa kotak dengan periode tertentu. Hal ini sama artinya dengan menumpangkan sinyal informasi (pulsa kotak) kepada sinyal *carrier* (sinusoidal) untuk menghasilkan pulsa *monocycle*.



Gambar 3.8 Rangkaian *Mixer* menggunakan IC MC1496

3.7 Desain dan Implementasi Rangkaian Penguat Daya

Penguat daya yang direalisasikan pada generator pulsa untuk GPR ini yaitu penguat daya *series-fed* kelas A dengan menggunakan transistor RF MRF321. Untuk rangkaian prategangan *Bipolar Junction Transistor* (BJT) perhitungannya sebagai berikut.
 $V_{CE} = 5 \text{ Volt}; I_C = 500 \text{ mA}; V_{CC} = 12 \text{ Volt}; \beta = 50$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = \frac{12 - 5}{500 \cdot 10^{-3}} = 14 \Omega$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{500 \cdot 10^{-3}}{50} = 10 \text{ mA}$$

BJT aktif pada saat $V_{BE} = 0.7 \text{ Volt}$.

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{12 - 0.7}{10 \cdot 10^{-3}} = 1.13 \text{ K}\Omega$$

Untuk nilai kapasitor kopling C_C dan C_B , perhitungannya seperti berikut:

$$X_C \leq 0.01 \times R_B = 0.01 \times 1.13 \text{ K}\Omega = 11.3 \Omega$$

$$C \geq \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi \times 200 \cdot 10^6 \times 11.3} = 70.42 \text{ pF}$$

Daerah batas limit operasi daerah transistor: BJT sebagai penguat haruslah bekerja di daerah aktif.

$$\begin{aligned} I_{CEO} &\leq I_C \leq I_{C_{MAX}} \\ V_{CESAT} &\leq V_{CE} \leq V_{CE_{MAX}} \\ V_{CE} I_C &\leq P_{C_{MAX}} \\ P_{C_{MAX}} &= V_{CB} I_C \end{aligned}$$

Berdasarkan *datasheet* diperoleh:

$$I_{C_{MAX}} = 1.5 \text{ A}; h_{fe \text{ max}} (\beta_{MAX}) = 80; I_{CBO} = 1 \text{ mA}$$

$$I_{CEO} = \beta_{MAX} \times I_{CBO} = 80 \times 1 \text{ mA} = 80 \text{ mA} = I_{C \text{ min}}$$

$$\text{Berdasarkan } \textit{datasheet} : V_{CE_{MAX}} = 33 \text{ volt}$$

$$\text{Berdasarkan rangkaian} : V_{CE_{SAT}} = 0 \text{ volt}$$

$$R_{CE} = \frac{V_{CE}}{I_C} = 0 \text{ sehingga } I_{C_{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{12 \text{ volt}}{14 \Omega} = 857.14 \text{ mA}$$

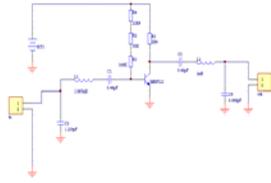
Untuk menentukan kemampuan maksimal transistor untuk menerima daya pantul adalah sebagai berikut (dimana $R_B = 1.13 \text{ K}\Omega$).

$$I_B = \frac{I_{CEO}}{\beta} = \frac{80 \text{ mA}}{80} = 1 \text{ mA}$$

$$P_{\text{threshold}} = (1 \times 10^{-3})^2 \times 1.13 \times 10^3 = 1.13 \times 10^{-3} \text{ watt} = -29.46 \text{ dBW} = 0.53 \text{ dBm}$$

$$\text{Daya_input} = V_{CC} \cdot I_{CQ} = 12 \cdot 800 \text{ mA} = 9.6 \text{ Watt}$$

$$\text{Daya_output} = P_o = V_{CE} \cdot I_C = 5.500 \text{ mA} = 2.5 \text{ Watt}$$



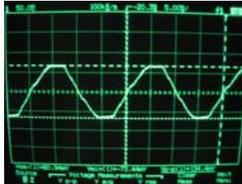
Gambar 3.9 Rangkaian Wideband RF Power Amplifier

4.1 Pengukuran Domain Waktu dengan Osiloskop

4.1.1 Pengukuran Blok frequency doubler

Pengukuran blok *frequency doubler* dengan menggunakan alat ukur osiloskop menghasilkan data sebagai berikut:

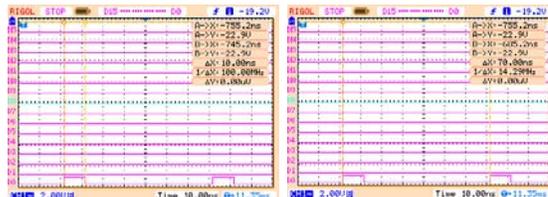
1. V_{p-p} = 134.4 mV
2. V_{rms} = 48.73 mV
3. V_{max} = 60.94 mV
4. V_{min} = -73.44 mV
5. Periode = 10.2 ns
6. *Duty Cycle* = 49%



Gambar 4.1 Pengukuran Sinyal Sinus dengan Osiloskop

4.1.2 Pengukuran Blok FPGA

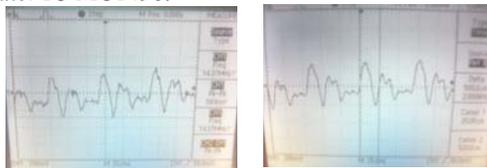
Diperoleh data lebar pulsa adalah 10ns dan periode pulsa (*pri*) adalah 70 ns. Dengan demikian diketahui *pulse repetition frequency* (*prf*) adalah 14.29MHz dan *duty cycle* sebesar 14.28%.



Gambar 4.2a) Pengukuran Lebar Pulsa Kotak dengan Osiloskop **b)** Pengukuran *PRI* Pulsa Kotak

4.1.3 Pengukuran Blok Frequency Doubler, FPGA, dan Mixer

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui bentuk pulsa yang dihasilkan dari gabungan blok *frequency doubler* dan FPGA dengan menggunakan *mixer IC* MC1496.

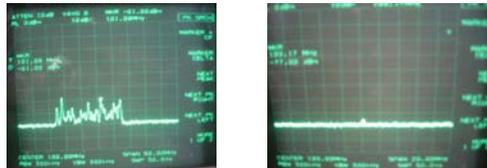


Gambar 4.3a) Pengukuran *PRF* Pulsa *Monocycle* dengan Osiloskop **b)** Pengukuran Lebar Pulsa *Monocycle*

Data yang diperoleh dari pengukuran adalah frekuensi pulsa bernilai 14.37MHz, merupakan nilai *prf* dari pulsa *monocycle*. Nilai tersebut mendekati nilai *prf* pulsa kotak 14.29MHz. Dapat disimpulkan bahwa IC MC1496 telah bekerja sesuai kemampuannya, dimana ketika diberi input tegangan *high-level* DC akan menghasilkan frekuensi output sebesar frekuensi sinyal informasi. Tetapi untuk lebar pulsa diperoleh nilainya sebesar 25ns, lebih besar daripada lebar pulsa kotak yang hanya 10ns.

4.2 Pengukuran Domain Frekuensi dengan SPECTRUM ANALYZER (SA)

Dari pengukuran blok *frequency doubler* yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut: pada frekuensi 87.33MHz diperoleh daya -66dBm, pada frekuensi 101.08MHz dayanya sebesar -61dBm, dan pada frekuensi 107dBm diperoleh daya -61dBm, dengan *bandwidth* sekitar 19.67MHz. Tetapi setelah blok *frequency doubler* I dan II digabung, frekuensi yang diinginkan yaitu 197.9MHz belum diperoleh.



Gambar 4.4a) Hasil Pengukuran Blok *Frequency Doubler* I **b)** Hasil Pengukuran Blok *Frequency Doubler* Gabungan dengan *Spectrum Analyzer*

4.3 Pengukuran Rangkaian Prategangan Amplifier

Pengukuran rangkaian prategangan BJT blok *amplifier* dilakukan dengan menggunakan alat ukur multimeter dan *power supply* 12Volt. Hasilnya:

- V_{BE} = 0.89 V
- V_{CE} = 11.69 V
- V_{RC} = 6.89 V
- V_{RB} = 11.12 V

Dari hasil pengukuran dapat dihitung besar arus yang melalui kolektor yaitu:

$$I_c = \frac{V_{RC}}{R_c} = \frac{6.89V}{14\Omega} = 492mA$$

Tegangan V_{BE} sudah memenuhi syarat aktif transistor, yaitu lebih besar atau sama dengan 0.7 Volt.

4.4 Analisis Kestabilan Pulsa

4.4.1 Frekuensi

Frekuensi yang dihasilkan oleh blok *frequency doubler* cukup stabil antara 87MHz sampai dengan 107MHz, karena rangkaian osilator menggunakan osilator Kristal. Beda halnya jika rangkaian osilator menggunakan gulungan transformer atau rangkaian resonansi yang biasanya relatif kurang stabil.

4.4.2 Waveform

Pulsa yang dihasilkan bentuknya cenderung stabil, yaitu berbentuk *monocycle*, tetapi dengan ripple yang besar. Untuk sinyal sinus, bentuk sinyal juga relatif stabil. Hal ini disebabkan karena antar blok juga telah diberi rangkaian matching impedansi berbentuk L kanan bertingkat sebanyak tiga buah, yang bersifat meloloskan sinyal DC.

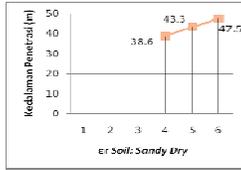
4.4.3 Daya

Daya yang dihasilkan juga relatif stabil antara -66dBm sampai dengan -61dBm. Tetapi daya ini belum merupakan daya pancar generator pulsa karena pengukuran hanya dilakukan pada blok *frequency doubler*, belum dihubungkan dengan blok *amplifier* dan blok FPGA.

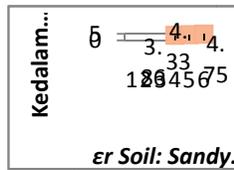
4.4 Analisis Kedalaman Penetrasi Pulsa

4.4.1 Soil: Sandy dry

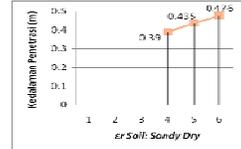
Berdasarkan data pada tabel 2.2, jenis tanah *sandy dry* memiliki $\epsilon_r = 4-6$, $\mu_r = 5$, dan $\sigma = 0.0001-0.01$.



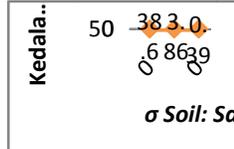
(a) Pada $\mu_r=5, \sigma=0.0001$



(b) Pada $\mu_r=5, \sigma=0.001$



(c) Pada $\mu_r=5, \sigma=0.01$

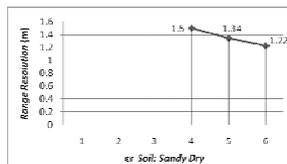


(d) Pada $\mu_r=5, \epsilon_r=4$

Pada kondisi nilai konduktivitas listrik dan permeabilitas magnetik yang sama, jarak penetrasi ke dalam tanah akan berbanding lurus dengan nilai permitivitas dielektrik relatifnya. Pada kondisi nilai permitivitas dielektrik relatif dan permeabilitas magnetik yang sama, jarak penetrasi ke dalam tanah akan berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas listriknya.

4.5 Analisis Nilai Resolusi GPR Berdasarkan Permittivitas Dielektrik Tanah

Dengan persamaan pada tabel 2.1, diperoleh nilai *range resolution* (ΔR) dari beberapa jenis tanah, dimana besarnya tergantung kepada permitivitas dielektrik relatif masing-masing jenis tanah. Nilai *range resolution* GPR berbanding terbalik terhadap permitivitas dielektrik relatif tanah.



Gambar 4.5 Pengaruh Permittivitas Dielektrik Relatif Tanah *Sandy Dry* terhadap Nilai *Range Resolution*

5. Kesimpulan

- Dari hasil pengukuran, generator pulsa yang telah direalisasikan belum dapat bekerja pada frekuensi 200MHz karena keterbatasan IC MC1496 yang kurang optimal bekerja pada frekuensi selain yang terdapat dalam *datasheet*, kekurangsepadanan antara blok *frequency doubler* I dengan blok *frequency doubler* II akibat kurang sesuainya nilai komponen yang digunakan, keterbatasan penyediaan komponen untuk perangkat frekuensi tinggi di Indonesia, dan keterbatasan kemampuan dalam teknik penyolderan untuk perangkat frekuensi tinggi.
- Dari hasil pengukuran:
 - Blok *frequency doubler* bekerja pada frekuensi 87-107MHz, dengan daya -66dBm sampai -61dBm.
 - Blok FPGA menghasilkan pulsa kotak dengan lebar 10ns dan periode 70ns, dengan frekuensi 14.29MHz.

c. Pulsa *monocycle* yang dihasilkan mempunyai frekuensi mendekati frekuensi pulsa kotak yaitu 14.37MHz, dengan lebar pulsa ± 15 ns.

- Dengan nilai konduktivitas listrik dan permeabilitas magnetik yang sama, jarak penetrasi ke dalam tanah berbanding lurus dengan nilai permitivitas dielektrik relatif tanah.
- Dengan nilai permitivitas dielektrik relatif dan permeabilitas magnetik yang sama, jarak penetrasi ke dalam tanah berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas listrik tanah.
- Pada enam jenis tanah yang dianalisis, disimpulkan bahwa nilai *range resolution* GPR berbanding terbalik terhadap permitivitas dielektrik relatif tanah.

SARAN

- Penelitian dapat dilanjutkan dengan merealisasikan generator pulsa yang lebih stabil dan memiliki daya pancar yang lebih tinggi, atau direalisasikan untuk berbagai frekuensi GPR.
- Penelitian dapat dilanjutkan dengan merealisasikan generator pulsa menggunakan teknik yang berbeda seperti dengan menggunakan PIN diode untuk menghasilkan pulsa *monocycle* yang lebih bagus tanpa harus menggunakan blok FPGA sebagai penghasil pulsa kotak.

DAFTAR REFERENSI

- Bluhm, Hansjoachim. *Pulsed Power Systems Principles and Applications*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006, Germany.
- Boylestad, Robert. and Louis Nashelsky. (1992). *Electronic Devices And Circuit Theory*. New Jersey: Prentice Hall International Editions.
- Daniels, David. *Ground-penetrating radar. - 2nd ed. - (Radar, sonar, navigations & avionics)*. The Institution of Electrical Engineers, London, 2004.
- Daniels, David. *Surface penetrating radar*. The Institution of Electrical Engineers, London, 2004.
- Ligthart, L.P. & E.E. Ligthart, *Lecture Notes For The Intensive Course On Ground Penetrating Radar*. Delft University of Technology-IRCTR, Januari 2004.
- Radar Principles and Systems
- Syarif, Tesha Rofelina Larasati. (2007). Design And Simulation Of Logarithmic Spiral Antenna For Ground Penetrating Radar (GPR). Bandung: STT Telkom.
- <http://telecom.mercubuana.ac.id>
- www.gb.nrao.edu/IPG/Interference/125-200MHz.pdf
- www.geomodel.com/
- www.wikipedia.or.id
- Team Dosen Elkom. Handout Elektronika Komunikasi (TE3623). Teknik Elektro STT Telkom. Bandung: STT Telkom.