

Radar Penembus Dinding UWB-FMCW 500-3000 MHz

Through-Wall Radar UWB-FMCW 500-3000 MHz

R. Indra Wijaya, Purwoko Adhi, Asep Yudi Heruadi,
Ros Sariningrum, dan Dadan Muliawandana

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Komplek LIPI Gedung 20 Lantai 4, Jl Sangkuriang, Bandung 40135, Indonesia

Abstrak

Radar penembus dinding memiliki potensi untuk dapat digunakan dalam penanganan pasca bencana dan gangguan keamanan. Tulisan ini membahas hasil perancangan dan pembuatan sistem Radar Penembus Dinding *Ultra Wide Band Frequency Modulated Continuous Wave* (UWB-FMCW) yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan suatu objek di balik dinding. Dalam penelitian ini dikembangkan pembangkit *chirp* UWB menggunakan kombinasi DDS dan VCO sebagai komponen utama pembangkit gelombang FMCW untuk mendapatkan linearitas yang tinggi, merealisasikan *transceiver* dalam arsitektur *homodyne*, mengembangkan modul akuisisi, serta merealisasikan perangkat lunak untuk melakukan pengolahan sinyal dan menampilkannya dalam bentuk citra secara *real time* menggunakan MS Visual C++. Sistem radar penembus dinding didesain untuk memiliki resolusi 6 cm dan jarak tidak ambigu 30 m, pada rentang pita frekuensi kerja 500 - 3000 MHz. Dari hasil pengujian dalam skala laboratorium radar ini mampu melakukan identifikasi objek dibalik dinding yang terbuat dari kayu setebal 3 cm pada jarak 4 m dan menampilkannya dalam bentuk citra *A-Scan* dan *B-Scan* secara *real time*.

Kata kunci: radar, penembus dinding, pembangkit *chirp* UWB, akuisisi data berkecepatan tinggi, deteksi objek, FMCW.

Abstract

The through-wall radar has the potential to be used in post-disaster and security disturbances. This study aims to design and realize the through wall radar system based on Ultra Wide Band and Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW-UWB) technology to detect an object behind the wall. In this study, we develop an UWB Chirp using DDS and VCO as a main component to obtain FM linearity, realizing transceiver in homodyne architecture, develop a data acquisition module using USB interface, as well as the realization of the software to perform signal processing and displays the image in real time in the form of using MS Visual C++. The through wall radar system is designed to have a resolution of 6 cm and unambiguous distance of 30 m, in the range of working frequency band 500-3000MHz. Based on the laboratory test result, the designed radar is able to identify objects behind 3cm thick wood walls at a distance of 4m and displays the image in the form of A-Scan and B-Scan in real time.

Keywords: radar, through-wall, UWB chirp generator, high speed data acquisition, object detection, FMCW.

I. PENDAHULUAN

Keberadaan suatu objek di balik dinding, tembok, beton dan material lain dapat dilakukan menggunakan suatu alat pencitra gelombang elektromagnetik yang disebut radar penembus dinding (*TWR/through-wall radar*) [1] – [3]. TWR memiliki potensi untuk dapat digunakan secara luas dalam melakukan pengamatan terhadap suatu objek yang berada atau terhalang dibalik dinding. Radar jenis ini berpotensi untuk dapat dimanfaatkan dalam membantu usaha-usaha penyelamatan pasca bencana atau kecelakaan dan penanganan gangguan keamanan, seperti pada kasus pencarian korban dibalik reruntuhan pasca gempa, pencarian korban yang terjebak pada ruangan pada saat terjadi kebakaran, penanganan gangguan terorisme, penyanderaan, dan sebagainya.

Pada dasarnya radar bekerja dengan cara mengirimkan impuls gelombang elektromagnetik dan

kemudian menangkap pantulannya. TWR umumnya dibangun menggunakan teknologi *ultra wide band* (UWB) yang banyak digunakan untuk *ground penetrating radar* (GPR). Pembangkitan dan analisis sinyal UWB dapat dilakukan secara langsung dalam kawasan waktu maupun secara tidak langsung dengan mensintesis sinyal dalam kawasan frekuensi.

Pada metode dalam kawasan waktu, sinyal UWB dibangkitkan dengan membentuk / memancarkan pulsa-pulsa dengan durasi sangat pendek. Sinyal balik yang akan diterima oleh penerima radar akan berupa kombinasi sinyal-sinyal yang merupakan pantulan sinyal yang dipancarkan oleh pemancar dan dipantulkan kembali oleh benda-benda dengan jarak, ukuran, dan reflektivitas yang berbeda-beda. Sinyal-sinyal ini memiliki daya, fasa dan waktu tunda yang berbeda-beda terhadap sinyal yang dipancarkan. Analisis sinyal dilakukan dalam domain waktu di mana waktu tunda sinyal menunjukkan jarak (*range*) objek dari radar.

Metode dalam kawasan frekuensi bisa dibagi menjadi tiga; *Step Frequency Continuous Wave* (SFCW), *Frequency Modulation Continuous Wave* (FMCW), dan *Pseudo Random Noise* (PRN). Pada radar jenis ini analisis sinyal untuk mendapatkan hubungan

* Corresponding Author.

Email: ratna.indrawijaya@lipi.go.id

Received: January 17, 2014; Revised: February 7, 2014

Accepted: June 3, 2014

Published: June 30, 2014

© 2014 PPET - LIPI

doi : 10.14203/jet.v14.1-7

impuls dalam kawasan waktu dengan frekuensi dilakukan dengan melakukan transformasi fourier.

Pemilihan desain sebuah sistem radar sangat bergantung pada tujuan aplikasinya. Radar TWR yang digunakan untuk mengamati objek yang dihalangi oleh suatu material pada jarak dekat tentunya berbeda dengan radar udara atau permukaan yang digunakan untuk mengamati objek di udara tanpa halangan dengan jarak yang jauh. Radar UWB FMCW, pada prinsipnya menggunakan teknologi yang sama dengan radar FMCW yang digunakan untuk radar permukaan atau radar udara. Perbedaannya, radar UWB FMCW menggunakan frekuensi yang lebih rendah yang memungkinkan sinyal untuk menembus material penghalang dengan lebih baik dan menggunakan lebar pita sinyal yang jauh lebih lebar untuk mendapatkan resolusi yang lebih teliti (pendek).

II. RADAR UWB FMCW

A. Ultra Wide Band (UWB)

Sejauh ini teknologi *Ultra Wide Band* (UWB) telah banyak diimplementasikan dalam berbagai bidang dan aplikasi, seperti sistem komunikasi nirkabel, jaringan sensor nirkabel, sistem sensor anti tabrakan pada kendaraan bermotor, penentuan lokasi objek di dalam ruangan, dan sebagainya. Berdasarkan rekomendasi *Federal Communication Commission* (FCC) [4], perangkat elektronik digolongkan dalam teknologi UWB jika memiliki bandwidth -10 dB lebih dari 500 MHz,

$$\beta_{-10dB} > 500 \text{ MHz} \quad (1)$$

atau memiliki fractional bandwidth,

$$\beta_{fr} = 2 \frac{(f_h - f_l)}{(f_h + f_l)} > 0,2 \quad (2)$$

di mana f_l dan f_h merupakan frekuensi terendah dan tertinggi pada level -10 dB dari level tertingginya.

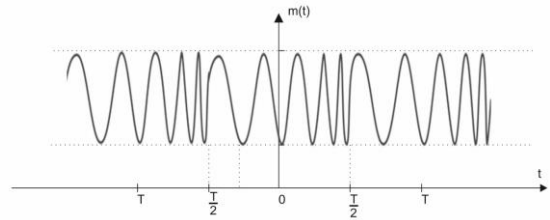
FCC menyebutkan bahwa teknologi UWB dapat digunakan untuk sistem radar, memungkinkan pengukuran jarak yang presisi, mendeteksi objek di dalam rentang tertentu, atau pencitraan beresolusi tinggi terhadap objek di bawah dan di balik permukaan [5].

Dalam bidang radar, lebar *bandwidth* yang dimiliki teknologi UWB memberikan keuntungan berupa kemampuan untuk melakukan deteksi dengan resolusi tinggi, yang tidak dapat diperoleh dengan radar *narrowband*. Hubungan antara *bandwidth* dengan resolusi dinyatakan sebagai,

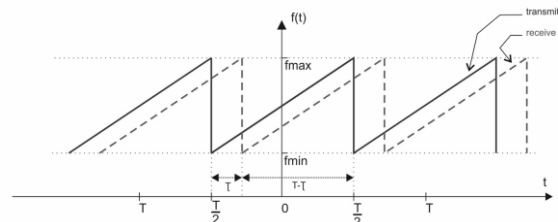
$$\Delta R = \frac{c}{2\beta} \quad (3)$$

B. Prinsip Dasar Radar FMCW

Sistem radar FMCW memancarkan gelombang *microwave* secara kontinu (*continuous wave*) yang dimodulasi secara frekuensi (*frequency modulated*) dengan suatu gelombang frekuensi rendah dengan periode tertentu. Gambar 1 menunjukkan bentuk gelombang *chirp* FMCW dalam domain waktu dan Gambar 2 menunjukkan perubahan frekuensi sinyal *chirp* dalam domain frekuensi dengan periode *chirp* (*time sweep*) T .



Gambar 1. Chirp FMCW Dalam Kawasan Waktu.



Gambar 2. Perubahan Frekuensi Sinyal Chirp Yang Dipancarkan (Garis Tidak Terputus) dan yang Diterima (Garis Putus-putus) Dalam Kawasan Frekuensi.

Frekuensi sesaat *chirp* dapat dituliskan dalam bentuk

$$f(t) = f_{min} + \alpha t \quad (4)$$

di mana f_{min} merupakan frekuensi awal *chirp* dan α merupakan laju perubahan frekuensi *chirp*,

$$\alpha = \Delta f / T \quad (5)$$

$$\Delta f = \beta = f_{max} - f_{min} \quad (6)$$

Sebuah objek diam yang diterima oleh antenna dan rangkaian *receiver* RF merupakan duplikat dari sinyal pancar yang mengalami pelemahan dan penundaan waktu (τ) selama selang waktu perambatannya dari antenna pemancar ke objek dan kembali lagi ke antenna penerima.

$$\tau = \frac{2R}{c} \quad (7)$$

di mana R merupakan jarak objek ke antenna dan $c = 3 \times 10^8$ m/det merupakan cepat rambat cahaya di udara.

Dalam sistem penerima *homodyne*, sinyal yang diterima dicampur (*mixing*) dengan sinyal yang dikirimkan yang menghasilkan frekuensi pelayangan (*beat*), f_b ,

$$f_b = \alpha \tau \quad (8)$$

Untuk mendapatkan informasi jarak objek (R) yang tidak bergerak dapat dilakukan dengan melakukan pencuplikan sinyal *beat* dalam domain waktu yang dilanjutkan dengan melakukan proses transformasi fourier untuk mendapatkan spektrum frekuensinya (*spectrum range*).

$$R = \frac{c\tau}{2} = \frac{cf_b}{2\alpha} = \frac{cf_b T}{2\Delta f} = \frac{cf_b T}{2\beta} \quad (9)$$

Jika sebuah objek bergerak dengan jarak awal R_0 (pada saat t_0) dengan kecepatan radial v , *delay* tidak akan bernilai konstan. Dalam kondisi $v \ll c$,

$$\tau \approx \frac{2}{c} (R_0 + vt) \quad (10)$$

Karena perubahan *delay* yang relatif lambat, maka hanya akan terjadi perubahan fasa pada frekuensi *beat*-nya. Jika sinyal dianalisis pada sejumlah K periode

chirp, frekuensi doppler dapat diperkirakan dari perubahan fasanya, yang memungkinkan untuk menghitung kecepatan radial objek.

Untuk mengukur jarak dan kecepatan radial objek dengan radar FMCW diperlukan pemrosesan sinyal dua dimensi [8], untuk mendapatkan spektrum dua dimensi dari sinyal *beat* (satu dimensi). Spektrum dua dimensi dilakukan dengan metode pemrosesan digital. Sinyal *beat* $x(t)$ dicuplik dengan periode pencuplikan T_s (*sampling rate* $f_s = 1/T_s$), kemudian *spectrum range* ditentukan dengan N-sampel DFT untuk setiap periode modulasi chirp T , menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Selanjutnya *spectrum velocity* ditentukan dengan K-sampel DFT.

Dalam sistem radar FMCW dengan pemrosesan sinyal DFT dua dimensi, parameter penting yang digunakan untuk mendapatkan spesifikasi ambiguitas jarak dan kecepatan adalah *time sweep* (T), bandwidth (β), dan *sampling rate* (f_s). Sedangkan resolusi diturunkan dari jumlah sampel DFT, N dan K yang digunakan dalam penentuan *spectrum range* dan *velocity*.

Pada radar FMCW ambiguitas jarak yang didefinisikan sebagai jarak maksimum yang dapat ditentukan oleh radar dibatasi oleh *sampling rate Analog to Digital Converter* (ADC) yang digunakan untuk melakukan pencuplikan sinyal *beat*. Frekuensi *beat* maksimum (f_{bmax}) yang masih bisa didapatkan dengan *sampling rate* (f_s) dibatasi oleh *frequency Nyquist* sebesar $f_{bmax} = f_s/2$. Ambiguitas jarak radar dirumuskan dengan

$$R_{max} = \frac{c f_{bmax} T}{2 \beta} = \frac{c f_s T}{4 \beta} \quad (11)$$

Sedangkan pergeseran doppler yang disebabkan oleh pergerakan objek memiliki nilai ambiguitas frekuensi doppler sebesar $f_d = \frac{1}{T}$, pada rentang $-\frac{1}{2T} < f_d < \frac{1}{2T}$, di mana $f_d = \frac{2v}{c} f_0$ [8] dan f_0 merupakan frekuensi *carrier* radar atau frekuensi tengah *chirp*, menghasilkan ambiguitas kecepatan radial sebesar

$$v_{max} = \frac{f_{dmax} c}{2 f_0} = \frac{c}{4 T f_0} \quad (12)$$

Kecepatan radial untuk objek yang mendekati radar memiliki nilai positif dan memiliki nilai negatif untuk objek yang bergerak menjauhi radar. $-v_{max} < v < v_{max}$.

Selanjutnya resolusi jarak dan kecepatan radial radar FMCW dirumuskan sebagai

$$\Delta R = \frac{2 R_{max}}{N} \quad (13)$$

$$\Delta v = \frac{2 v_{max}}{K} \quad (14)$$

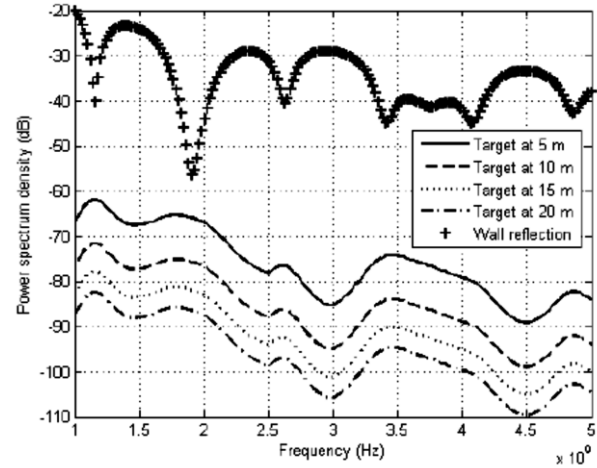
C. Jangkauan Dinamis FMCW

Jangkauan dinamis yang dibutuhkan oleh sistem radar umumnya ditetapkan oleh rasio antara sinyal terkuat yang diterima dengan respons sinyal terkecil yang diperoleh dari target (objek). Dalam radar FMCW TWR, kesulitannya terletak pada sinyal terkuat yang biasanya berasal dari pantulan dinding pertama, selain interferensi dan *coupling* antena. Pantulan ini jauh lebih tinggi dari hamburan balik tubuh manusia. Rasio antara

daya yang diteruskan dengan daya yang dipantulkan oleh dinding dapat ditulis sebagai

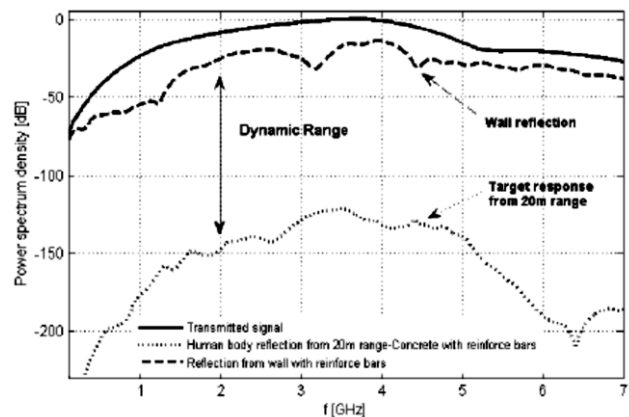
$$\frac{P_{wall}}{P_t} = \frac{R_{wall} G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 (2d)^4} \quad (15)$$

N. Maaref dkk [6] melakukan perhitungan simulasi untuk batu bata berongga setebal 20 cm, yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Dynamic Range (20 cm Batu Bata Berongga).

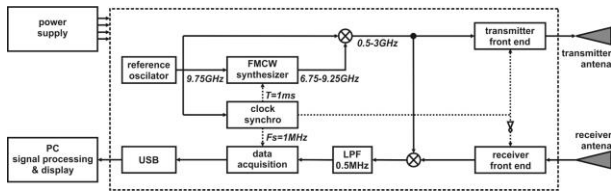
Pada jarak 20 m rentang dinamis yang diperlukan lebih dari 80 dB, dan meningkat dengan meningkatnya frekuensi, hal ini sulit dicapai dan perlu perhatian khusus dalam hal penguatan, penyaringan dan digitalisasi (proses akuisisi data). Detektor radar harus menerima rentang dinamis ini agar refleksi tertinggi yang berasal dari permukaan dinding pertama tidak menyebabkan penerima menjadi saturasi. Pada prakteknya, kebutuhan *dynamic range* radar dapat dilakukan dengan melakukan *averaging* terhadap sejumlah besar sampel data (sinyal yang diterima) yang berpengaruh pada penambahan waktu akuisisi data.



Gambar 4. Dynamic Range untuk Objek Sejauh 20 m.

III. SPESIFIKASI DAN PERANCANGAN

Dalam pengembangan *Through Wall Radar* (TWR) ini, dipilih teknik FMCW, karena arsitektur radar dengan tipe ini cukup sederhana dan tidak membutuhkan komponen RF khusus. Diagram blok perangkat keras TWR yang akan dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Blok Diagram TWR.

Untuk dapat menembus dinding yang memiliki permitifitas yang berbeda beda, dalam perambatannya gelombang akan mengalami redaman yang lebih besar pada frekuensi yang lebih tinggi, di sisi lain untuk mendapatkan resolusi yang tinggi diperlukan *bandwidth* yang lebar (UWB), sehingga pada penelitian ini frekuensi *chirp* yang akan digunakan adalah 500 MHz – 3000 MHz.

Untuk membangkitkan *chirp* dari 500 MHz sampai dengan 3000 MHz digunakan sebuah DRO dengan frekuensi tetap 9750 MHz sebagai pembangkit frekuensi referensi [10], sebuah FMCW *synthesizer* diatur agar menghasilkan *chirp* dari 6750-9250 MHz. Sebuah *mixer* dan sebuah *lowpass filter* digunakan untuk melakukan *downmix* keluaran FMCW *synthesizer* dengan LO yang berasal dari DRO, sehingga dihasilkan *chirp* dengan frekuensi 500 MHz sampai dengan 3000 MHz.

Untuk menjamin linearitas frekuensi *chirp* terhadap waktu, FMCW *synthesizer* disusun dengan menggunakan VCO yang digunakan bersama sebuah DDS dan PLL dalam konfigurasi pengali frekuensi dengan output dari DDS sebagai frekuensi referensi [11]. DDS diprogram untuk membangkitkan *chirp* dengan lebar pita sempit, sehingga dalam rangkaian tertutup PLL dengan keluaran VCO sebagai frekuensi umpan balik, keluaran VCO juga akan berupa *chirp* dengan frekuensi yang lebih tinggi dan *bandwidth* yang lebih lebar mengikuti perubahan *chirp* DDS. *Time sweep* yang digunakan sebesar 1 mdetik. Dengan *bandwidth* selebar 2500 MHz, pada medium udara akan dihasilkan resolusi jarak sebesar $\Delta R = 6 \text{ cm}$.

Chirp FMCW yang digunakan berbentuk segitiga dengan masing-masing periode *up-chirp* dan *down-chirp*-nya sebesar $T_{uc} = T_{dc} = 1$ mdetik. *Chirp* segitiga digunakan karena lebih mudah dibangkitkan daripada *chirp* gigi gergaji, yang memerlukan rangkaian dengan respons yang cepat untuk berpindah dari f_{max} ke f_{min} *chirp* pada setiap akhir periode *chirp*. Sinyal *beat* nantinya hanya akan diambil pada periode *up-chirp* saja, karena kedua periode *chirp* tersebut akan menghasilkan frekuensi *beat* yang sama. Sehingga dalam hal ini periode *chirp* yang digunakan tetap sebesar $T = 1$ mdetik, sedangkan periode waktu antar *up-chirp* $T_c = 2$ mdetik digunakan dalam perhitungan doppler.

Kecepatan doppler maksimum (*unambiguous*) yang didapat dengan periode antar *chirp* $T_c = 2$ mdetik adalah $v_{max} = 21,428 \text{ m/detik}$.

Frekuensi *chirp* tersebut kemudian dipecah menjadi dua menggunakan *power divider*, yang satu kemudian diperkuat oleh *power amplifier* dan dipancarkan melalui antenna pemancar dan yang lain digunakan sebagai input *mixer* penerima. Karena radar TWR juga digunakan untuk mendeteksi keberadaan manusia, maka daya pancar radar harus dijaga untuk tidak terlalu besar,

sehingga aman dan tidak membahayakan kesehatan. FCC merekomendasikan maksimum level EIRP 41,3 dBm/MHz untuk sistem UWB. Pada penelitian ini keluaran pemancar radar didesain sebesar 30 dBm.

Untuk mengurangi efek kopling langsung antenna, sebuah *gating switch* ditambahkan sebelum penguat akhir untuk menghasilkan *interrupted chirp*. Untuk menghindari efek *aliasing*, switch tersebut harus dioperasikan dengan frekuensi *gating* (siklus *on/off*) minimal 2 kali frekuensi *sampling* ADC yang digunakan. Frekuensi *gating* yang digunakan sebesar 4 MHz, yang akan menghasilkan siklus *gating* (T_g) setiap 250 ndetik dengan periode *on/off* sebesar 125 ndetik. *Switch* yang sama juga diletakkan pada bagian penerima, dengan siklus kerja yang berlawanan. Proses *gating* ini akan menghasilkan respons maksimum dan minimum amplitudo *beat amplifier* pada rentang [9]:

$$RRes_{min1} = 0 \text{ m} \quad (16)$$

$$RRes_{min2} = 2 \frac{c \cdot T_g}{4} = 37,5 \text{ m} \quad (17)$$

$$RRes_{max1} = 1 \frac{c \cdot T_g}{4} = 18,75 \text{ m} \quad (18)$$

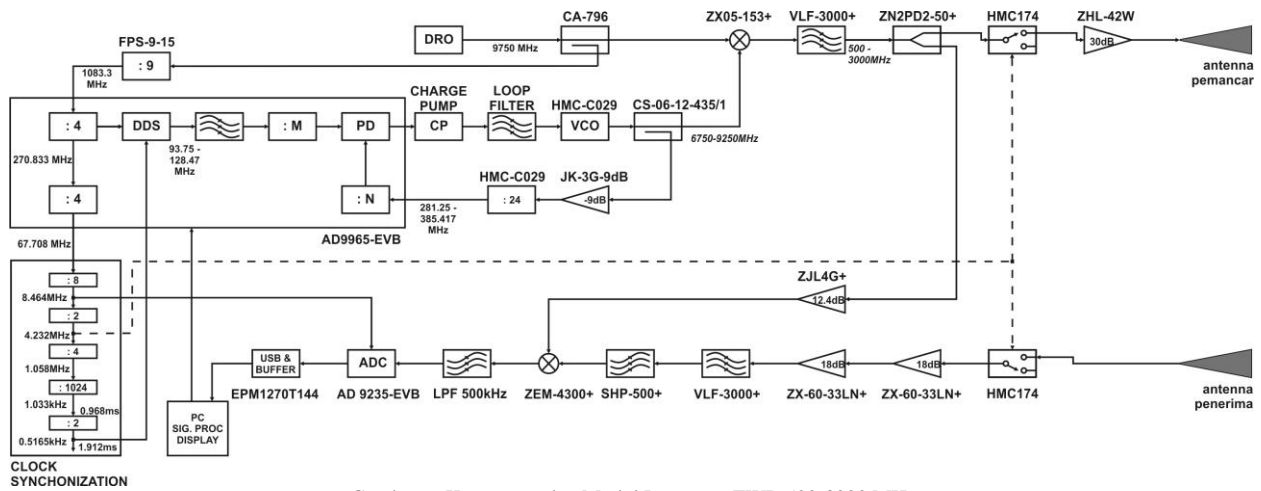
Setelah dipancarkan dan dipantulkan oleh objek di depan radar, sinyal kembali diterima oleh antenna penerima. Setelah melewati *gating switch*, sinyal diperkuat dengan LNA dan difilter, sinyal ini dicampur (*mixing*) dengan sinyal *chirp* dari pemancar, menghasilkan sinyal *beat*. Sinyal *beat* inilah yang dianalisis untuk mendapatkan informasi rentang (jarak) dan doppler (kecepatan gerak objek). Untuk itu sinyal *beat* ini harus dikonversi ke bentuk digital dengan ADC kemudian diambil oleh komputer (PC) melalui *interface* USB. Pemrosesan sinyal dan *display* selanjutnya dilakukan di PC.

Frekuensi *sampling* sinyal *beat* untuk proses FFT yang digunakan sebesar $f_s = 1 \text{ Msampling/detik}$, sehingga maksimum frekuensi *beat* yang dapat dibedakan adalah 500 kHz. Frekuensi *beat* maksimum ini memberikan nilai rentang *unambiguous* radar sebesar $R_{max} = 30 \text{ m}$.

Sebuah filter LPF 500 kHz bersama *beat amplifier* ditambahkan pada keluaran *mixer* penerima untuk menyesuaikan keluaran *mixer* dengan *dynamic range* ADC. Dengan menggunakan ADC 12 bit dalam proses akuisisi data akan didapatkan *dynamic range* $20\log(2^{12}) = 72 \text{ dB}$.

Untuk setiap periode *chirp* akan didapatkan 1024 sampel ($N = 1024$) yang akan menghasilkan 512 rentang *cell*. Sedangkan untuk mendapatkan kecepatan doppler digunakan 256 periode *chirp* ($K = 256$), yang akan menghasilkan 256 doppler *cell*. Sehingga diperlukan total waktu akuisisi data 128 mdetik untuk setiap proses deteksi (satu proses rentang doppler FFT). Resolusi yang dihasilkan oleh proses FFT ini menghasilkan resolusi rentang $\Delta R = 5,8 \text{ cm}$ dan resolusi doppler $\Delta v = 0,167 \text{ m/detik}$.

Subsistem *clock synchronization* digunakan untuk melakukan sinkronisasi waktu operasi antar subsistem dan komponen penyusun radar. Blok ini akan menghasilkan *clock* yang digunakan sebagai; (1) *trigger* DDS = 0,5 kHz, (2) frekuensi *sampling* ADC = 1 MHz,



Gambar 6. Komponen dan Modul Penyusun TWR 500-3000 MHz.

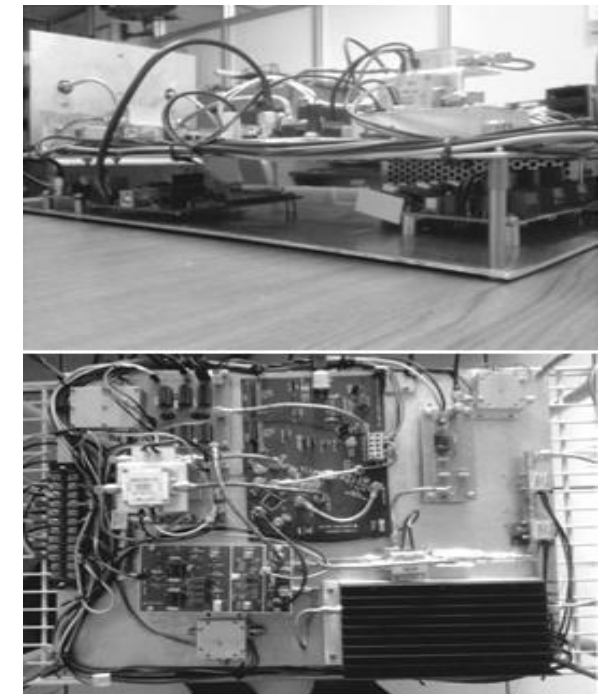
dan, (3) frekuensi *gating* = 4 MHz, yang diturunkan dari keluaran DRO dengan pembagi frekuensi dan rangkaian frekuensi *counter*. Ringkasan desain spesifikasi radar TWR ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL I
SPESIFIKASI TWR 500-3000 MHz

Parameter	Symbol	Nilai
Frekuensi	f	500-3000 MHz
Bandwidth	β	2500 MHz
Time sweep	T	1 mdetik
Periode antar chirp	T_c	2 mdetik
Frekuensi sampling ADC	f_s	1 Msampling/detik
Resolusi bit ADC		12 Bit
Dynamic range ADC		72 dB
Frekuensi beat maksimum	f_{bmax}	500 kHz
Jumlah sampel / periode chirp	N	1024
Jumlah sweep / periode doppler	K	256
Rentang cell		512
Cell velocity		256
Rentang maksimum	R_{max}	30 m
Resolusi rentang	ΔR	6 cm
Doppler maksimum	v_{max}	85,714 m/detik
Resolusi doppler	Δv	0,669 m/detik
Frekuensi gating	F_g	4 MHz
Gating periode	T_g	250 ndetik
Tx/Rx gating periode	T_t, T_r	125 ndetik
Rentang respons minimum	$RRes_{min}$	0,375 m
Rentang respons maximum	$RRes_{max}$	18,75 m

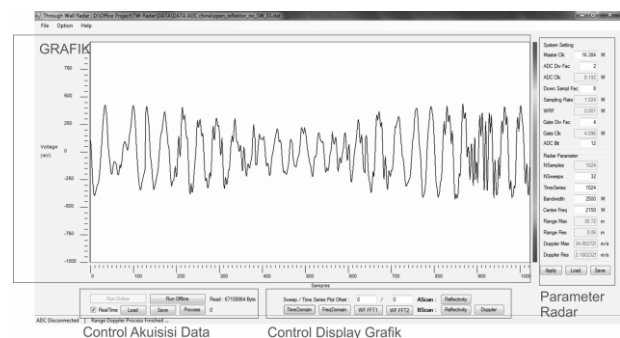
IV. REALISASI

Masing masing bagian dan komponen penyusun TWR 500-3000 MHz yang ditunjukkan pada Gambar 6, selanjutnya dirangkai menjadi sebuah sistem yang utuh. Beberapa subsistem yang memerlukan desain khusus dan dibuat sendiri meliputi realisasi FMCW *Synthesizer*, perubahan LPF DDS, pembuatan *Loop Filter*, pemrograman DDS, pembuatan *Clock Synchronization*, pembuatan *beat amplifier* dan *beat filter*. Semua modul diintegrasikan menjadi sebuah sistem radar seperti ditunjukkan pada Gambar 7. *Casing* dibuat dengan bahan aluminium dan akrilik. Modul-modul disusun dalam dua tingkat, tingkat bawah digunakan untuk menempatkan *power supply* dan modul akuisisi data,



Gambar 7. Hasil Integrasi Modul Radar TWR.

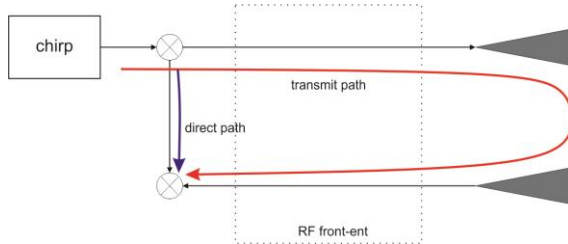
Realisasi perangkat lunak pemrosesan sinyal untuk mendapatkan *A-Scan* dan *B-Scan*, dan menampilkannya pada *display* secara *real time* ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Implementasi GUI TWR.

V. PENGUJIAN

Pengujian pertama sistem dilakukan untuk melakukan kalibrasi. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai titik nol referensi jarak. Jalur yang dilalui sinyal *chirp* dari titik pertama dipisahkan (*power splitter*) ke antenna pemancar kemudian ke antenna penerima dan masuk ke *mixer* penerima dengan jalur yang dilalui sinyal *chirp* yang langsung masuk ke mixer penerima (*beat*) memiliki jalur yang berbeda panjangnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Hal tersebut akan menyebabkan terjadinya *beat* meskipun objek pemantul berada tepat pada nol meter yang seharusnya tidak menghasilkan *beat*.



Gambar 9. Uji kalibrasi.

Jarak objek sesungguhnya harus dikurangkan terhadap jarak *offset* yang dihasilkan karena pengaruh selisih *delay* propagasi pada jalur *transmit path* dan *direct path*. Untuk mendapatkan *offset* tersebut port antenna pemancar dan penerima akan dihubungkan secara langsung, yang mewakili jarak referensi. Untuk menjaga agar LNA tidak terjadi saturasi pada pengukuran ini digunakan *attenuator* 45 dB pada *loopback*-nya.

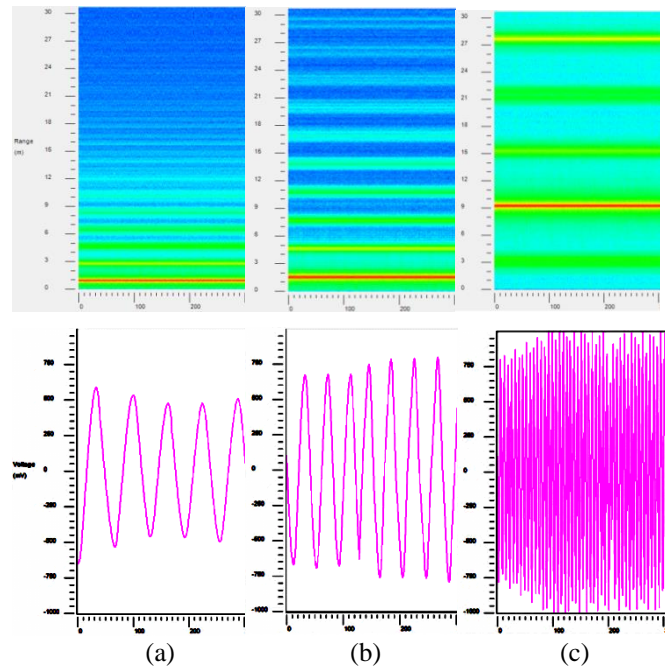
Pengujian selanjutnya dilakukan dengan melakukan uji *loopback* dengan kabel sepanjang 1 meter dan 10,5 m meter. Kabel sepanjang 1 m menggunakan kabel Huber Suhner S_04212_B yang memiliki nilai *velocity propagation* (VP) 82%. Sehingga seolah-olah kabel akan mewakili objek dengan jarak

$$R_{kabel-1\text{ m}} = \frac{1}{2 \times 0,82} = 0,61\text{ m} \quad (19)$$

Sedangkan kabel 10,5 m yang digunakan berupa kabel Belden RG-58A/U yang memiliki VP 66%, yang mewakili jarak objek

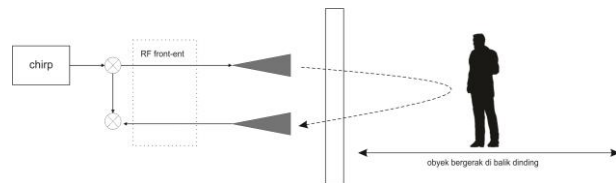
$$R_{kabel-10,5\text{ m}} = \frac{1}{2 \times 0,66} = 7,95\text{ m} \quad (20)$$

Hasil frekuensi *beat* dalam *B-Scan* dan *time domain* ditunjukkan pada Gambar 10. Dalam bentuk *B-Scan* frekuensi *beat* yang dihasilkan ditunjukkan dalam garis merah mendatar dengan sumbu y sebagai sumbu jarak. Tampak bahwa semakin panjang *loopback* kabel yang digunakan semakin jauh garis merah yang dihasilkan dari titik nol. Sedangkan dalam bentuk *time domain* tampak bahwa semakin panjang *loopback* kabel yang digunakan semakin tinggi frekuensi sinyal *beat* yang dihasilkan.



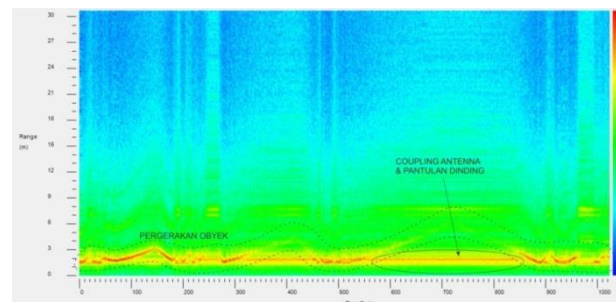
Gambar 10. Hasil Frekuensi *Beat* Dalam *B-Scan* (Atas) dan *Time Domain* (Bawah), pada Uji Kalibrasi (a), *Loopback* 1 m (b), dan *Loopback* 10,5 m (c).

Selanjutnya pengujian pada radar TWR dilakukan untuk mendeteksi keberadaan obyek dibalik dinding. Pengujian dilakukan dengan partisi dinding yang terbuat dari kayu setebal 3,5 cm. Antena radar ditempatkan pada jarak 50 cm di depan dinding. Obyek kemudian bergerak di balik dinding kayu, seperti diperlihatkan pada Gambar 11.

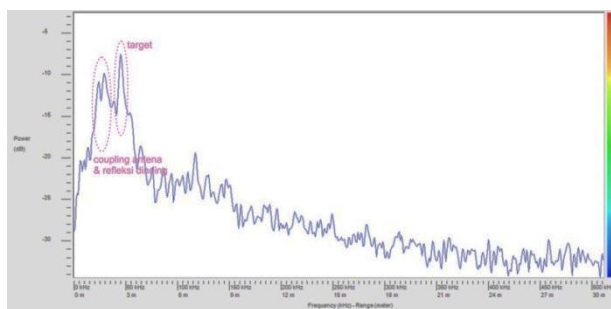


Gambar 11. Pengujian Radar Dengan Dinding.

Hasil *B-Scan* yang didapatkan ditunjukkan pada Gambar 12, dengan adanya penghalang kayu, terlihat garis merah horisontal konstan yang muncul sebagai akibat kopling antenna melebar. Hal ini disebabkan karena pada pengujian ini terdapat tambahan pantulan dari jarak dekat yang hampir berimpit dengan jarak *coupling* antenna, yaitu pantulan yang berasal dari dinding. Puncak-puncak spektrum *A-Scan* yang berasal dari *coupling* antenna, pantulan dinding dan target ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 12. *B-Scan* Pengujian TWR Dengan Dinding Kayu.



Gambar 13. A-Scan pengujian TWR dengan dinding kayu.

Pergerakan objek yang masih bisa dilihat dengan kasat mata hanya sampai pada jarak 4 m di balik dinding, sedangkan pada jarak yang lebih jauh, objek relatif susah dibedakan dari *noise* dan *cluter* lingkungannya. Tetapi ujung dinding lain sebagai pembatas ruangan yang juga memantulkan gelombang radar masih tampak terlihat pada citra *B-Scan* pada jarak 6 m dari dinding pertama yang terdeteksi oleh radar. Hal ini terlihat pada munculnya garis kuning ganda yang terlihat pada rentang skala 7~8 m.

KESIMPULAN

Sebuah *transceiver* FMCW dengan arsitektur *homodyne* telah dirancang dengan daya *output* maksimum 28,32 dBm. Berdasarkan hasil perhitungan radar ini mampu untuk mendeteksi target di balik dinding pada jarak 7 m. Radar telah mampu menghasilkan frekuensi *beat* yang digunakan untuk mendapatkan informasi jarak objek.

Sebuah perangkat lunak GUI pengolahan sinyal berbasis PC telah diimplementasikan menggunakan MS Visual C++ untuk melakukan pengolahan sinyal dengan algoritma FFT dua dimensi. Perangkat lunak ini telah dapat mengolah sinyal mentah radar menjadi citra *A-Scan* dan *B-Scan* secara *real time*.

Berdasarkan pengujian di laboratorium radar ini telah dapat berfungsi untuk mendeteksi keberadaan objek dan mendapatkan informasi jarak objek berdasarkan prinsip FMCW. Untuk dioperasikan sebagai radar penembus dinding, radar ini dapat mendeteksi pergerakan objek di balik dinding yang

terbuat dari kayu setebal 3,5 cm sampai jarak 4 m, dan mendapatkan informasi jaraknya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada PPET yang telah memfasilitasi peralatan ukur dan kepada staff Sub Bid. Sarana Telekomunikasi yg telah banyak membantu.

DAFTAR REFERENSI

- [1] M. Aftanas, "Through Wall Imaging with UWB Radar System", Disertasi, Technical University of Kosice, August, 2009.
- [2] A. Nezirovic, "Trapped-Victim Detection in Post-Disaster Scenarios using Ultra-Wideband Radar", Disertasi, International Research Center for Telecommunications and Radar, Delft University of Technology, 2010.
- [3] S. E. Hamran, T. Berger, L. Hanssen, and M. J. Oyan, "Gated UWB FMCW/SF radar for ground penetration and through the wall applications", *Sensors and Electronics Panel (SET) Specialists' Meeting*, MP-SET-120-01, NATO Research and Technology Organisation, Toulouse, France, 27-28 October 2008.
- [4] FCC, "Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultrawideband transmission systems", First report and order, ET Docket 98-153, FCC 02-48, Feb. 2002, pp. 1-118.
- [5] E. Staderini. (2001) Everything you always wanted to know about UWB radar: A practical introduction to the Ultra Wideband Technology. [Online] Available: <http://www.uniroma2.it/fismed/faculty/Stadaro/papers/osee.pdf>.
- [6] N. Maaref, P. Millot, C. Pichot, and O. Picon, "A study of UWB FMCW radar for the detection of human beings in motion inside a building", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, in press.
- [7] X. Zhuge, T. G. Savelyev, A. G. Yarovoy, "Assessment of electromagnetic requirements for UWB through-wall radar", *ICEAA 2007*, in *proc. International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications*, 2007, 17-21 Sept. 2007, pp.923-926.
- [8] A. Wojtkiewicz, J. Misiurewicz, M. Nalecz, K. Jedrzejewski, and K. Kulpa, "Two-dimensional signal processing in FMCW radars", in *Proc. XX KKTOiUE*, Kolobrzeg, Poland, 1997, pp. 475-480.
- [9] R. H. Khan and D. K. Mitchell, "Waveform analysis for high-frequency FMCW radar", *Radar and Signal Processing, IEE Proceedings F*, vol.138, no.5, Oct 1991, pp.411-419.
- [10] A. Y. Hercuadi, "Pengembangan Perangkat Dielectric Resonance Oscillator", Laporan Akhir Program Insentif Peneliti dan Perekayasa LIPI Tahun 2011, 2011.
- [11] P. Adhi, "Pembangkitan chirp untuk radar FM CW menggunakan DDS", *Prosiding Seminar Radar Nasional III*, 2009, hal. 143-146.