

RANCANG BANGUN FMCW WIND PROFILING RADAR BERBASIS USRP N210 DAN GNU RADIO : HASIL AWAL

Asif Awaludin¹ dan Taufiq Wirahman²

¹Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer – LAPAN

²Pusat Penelitian Informatika - LIPI

e-mail: asif.awaludin@lapan.go.id

ABSTRAK

Radar sangat diperlukan untuk pengamatan parameter atmosfer karena mempunyai resolusi yang tinggi. Dalam penelitian ini dikembangkan *Wind Profiling Radar* menggunakan teknologi FMCW dan SDR, karena lebih murah dan mudah dalam pengembangannya. FMCW WPR berbasis GNU Radio dan USRP ini akan digunakan untuk pengamatan *boundary layer* atmosfer. Hasil uji coba awal menunjukkan bahwa GNU Radio dan USRP N210 dapat digunakan sebagai pembangkit gelombang FMCW sekaligus penerimanya. Program *match filter* dapat dikembangkan menggunakan GNU Radio dan terbukti mampu meningkatkan hasil pendeteksian sehingga target dapat jelas terdeteksi walaupun terdapat *noise* dan terjadi distorsi sinyal.

Kata-kata kunci: *Wind Profiling Radar*, FMCW, USRP, GNU Radio.

ABSTRACT

Radar is necessary for atmospheric parameters observation due to its high resolution. A Wind Profiling Radar has developed using FMCW and SDR technology in this research as both will make the development become low cost and easier. The GNU Radio and USRP based FMCW WPR will be used to observe atmosphere boundary layer. In its first experiment results, GNU Radio and USRP N210 showed that it was compatible for FMCW waveform generator and its receiver development. Match filter code developed in GNU Radio also has successfully improved target detection from received signals eventough noise and distortion present.

Key words: Wind Profiling Radar, FMCW, USRP, GNU Radio.

1 PENDAHULUAN

Parameter utama atmosfer yang sering diamati adalah tekanan, temperatur, kelembaban, curah hujan, dan angin. Pengamatan profil vertikal angin di atmosfer seringkali

menggunakan radiosonda. Saat ini sekitar 800 stasiun cuaca di seluruh dunia (Wikipedia, 2014) menerbangkan radiosonda menggunakan balon secara rutin, umumnya setiap 12 jam (Vaisala, 2002). Meskipun pengukuran setiap 12 jam ini cukup untuk menjelaskan pola cuaca skala besar (*synoptic*), tetapi belum cukup untuk menjelaskan kejadian cuaca skala kecil yang terjadi secara signifikan (Vaisala, 2002). Untuk itu diperlukan instrumen pengamat cuaca resolusi tinggi, waktu nyata, dan skala lokal. Salah satu instrumen yang digunakan untuk pengamatan profil kecepatan angin vertikal dan horisontal saat udara cerah adalah *Wind Profiling Radar* (WPR).

WPR saat ini kebanyakan merupakan radar pulsa yang mempunyai kelemahan berupa *Signal to Noise Ratio* (SNR) bergantung pada daya puncak sinyal yang ditransmisikan, sehingga untuk SNR lebih tinggi diperlukan daya lebih besar dan komponen elektronik yang lebih rumit dan mahal. Daya lebih besar tersebut juga memerlukan pulsa yang lebih lebar, sehingga resolusi menjadi berkurang. Hal ini juga akan mengakibatkan radar pulsa kurang bagus untuk pendeteksian target jarak dekat. Untuk itu diperlukan solusi alternatif berupa radar *Frequency Modulated Continuous Wave* (FMCW). Pada radar ini, peningkatan SNR dilakukan dengan peningkatan daya rata-rata sinyal, sehingga cukup dilakukan dengan meningkatkan *duty cycle signal*. Hal ini dapat dilakukan menggunakan komponen elektronik yang lebih sederhana dan murah. SNR juga dapat ditingkatkan menggunakan teknik *pulse compression* pada pengolahan sinyal *echo*. Resolusi radar FMCW juga ditentukan berdasarkan lebar pita, sehingga resolusi tinggi dapat diperoleh tanpa harus membuat pulsa yang sempit seperti pada radar pulsa. Keuntungan ini membuat radar ini bagus untuk pendeteksian jarak dekat. Kekurangan radar FMCW adalah memerlukan antena tersendiri untuk pemancar dan penerimanya (Gomez, 2010). Salah satu WPR yang menggunakan teknologi ini adalah UHF FMCW WPR yang dikembangkan oleh Frasier (Gomez, 2010; Lopez, 2009).

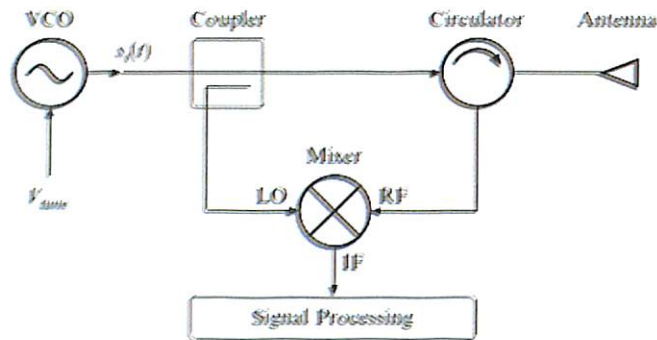
Rancang bangun radar yang berupa *hardware* secara keseluruhan membutuhkan biaya yang mahal dan rumit, serta sulit dalam perbaikan *hardware* dan rancang bangun lebih lanjut. Untuk itu, diperlukan solusi rancang bangun radar yang lebih

murah dan mudah. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan *Software Defined Radio* (SDR) (Withers, 2009). SDR memungkinkan hal ini karena menggunakan modul *software* sebagai pengganti *hardware*. Keunggulan lainnya adalah memungkinkan pembuatan radar serba guna, perbaikan dan rancang bangun lebih lanjut bisa dilakukan melalui perubahan *software*, serta dapat diintegrasikan langsung ke sistem pengolahan sinyal sehingga lebih cepat (Costanzo, 2013). Contoh WPR yang menggunakan SDR adalah *pulsed doppler-effect WPR Transceiver* yang dikembangkan oleh Borg dan Withers (Withers, 2009) dan *digital receiver for range imaging atmospheric radar* yang dikembangkan oleh Yamamoto, MK (Yamamoto, MK dkk, 2013).

Dalam tulisan ini dipaparkan tentang hasil awal rancang bangun radar FMCW dengan menggunakan SDR untuk pemantauan *boundary layer* atmosfer. Jenis SDR yang banyak digunakan adalah *Universal Software Radio Peripheral* (USRP) yang dijalankan menggunakan *software open source* GNU Radio. Penelitian rancang bangun radar FMCW menggunakan USRP telah dilakukan oleh Prabaswara (Prabaswara, 2011) dan Sitompul (Sitompul, 2013). Berbeda dengan kedua tulisan tersebut, dalam hasil awal ini selain dilakukan perancangan radar FMCW WPR juga dilakukan uji coba radar FMCW menggunakan USRP dengan menambahkan teknik *pulse compression* dalam GNU Radio untuk meningkatkan SNR sinyal radar yang diterima. Diharapkan hasil awal ini dapat menjadi landasan untuk rancang bangun lebih lanjut berupa sistem pengolahan sinyal *wind profiling radar* dan *hardware* sistem *transceiver* sinyal RF.

2 LANDASAN TEORI

Radar FMCW umumnya menggunakan *Voltage Controller Oscillator* (VCO) sebagai pembangkit gelombang yang berfungsi menghasilkan sinyal sinusoida yang frekuensinya berubah seiring waktu secara linier dengan cara mengubah pengontrol tegangan V_{tune} (Kissinger, 2012). Blok diagram sederhana rangkaian radar FMCW ditunjukkan dalam Gambar 1.



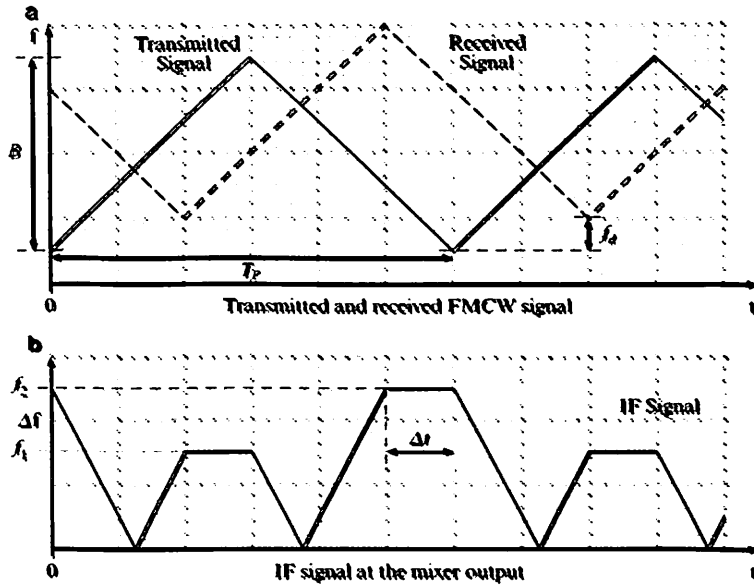
Gambar 1. Blok diagram sederhana rangkaian radar FMCW (Kissinger, 2012).

Bentuk sinyal FMCW keluaran VCO adalah berupa sinyal sinusoida yang dimodulasi frekuensi oleh sinyal *segitiga* yang dibangkitkan oleh suatu sumber sinyal. Modulasi ini disebut dengan *Linear Frequency Modulation* (LFM). Sinyal berfrekuensi linier yang dihasilkan VCO, disebut dengan *chirp*, mempunyai persamaan frekuensi seperti persamaan 1 dan bentuk sinyalnya seperti dalam Gambar 2a. Dimana f_T adalah sinyal *chirp*, f_0 adalah frekuensi awal, k adalah laju perubahan frekuensi, dan T_p adalah *sweep time*, dan B adalah lebar pita sinyal FMCW. Sinyal sinusoida fungsi waktu keluaran VCO ditunjukkan dalam persamaan 2 (Kissinger, 2012). Bentuk sinyal tersebut ditunjukkan dalam Gambar 3.

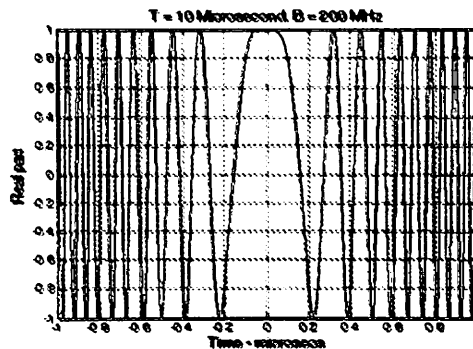
$$f_T(t) = f_0 + kt, \quad k = 2B/T_p \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$s_t(t) = A_t \cos\{2\pi f_T(t)t\} = A_t \cos(2\pi f_0 t + 2\pi k t^2) \quad \dots\dots (2)$$

Sinyal FMCW yang dikirim oleh radar akan dihamburkan oleh target dan kemudian diterima oleh radar. Total waktu perjalanan sinyal saat dikirim hingga diterima kembali oleh radar adalah Δt . Dan pergeseran frekuensi yang dihasilkan karena pergerakan target yang menghamburkan adalah f_d . Skema ini dijelaskan dalam Gambar 2a. Selisih absolut antara frekuensi yang dikirim dan diterima, yaitu Δf , yang merupakan sinyal IF yang akan diolah oleh pengolah sinyal radar untuk menentukan jarak dan kecepatan target dijelaskan dalam Gambar 2b (Kissinger, 2012).



Gambar 2. (a) Frekuensi sinyal FMCW yang dikirim dan diterima oleh radar dimana terjadi pergeseran frekuensi oleh target bergerak (b) sinyal IF keluaran mixer (Kissinger, 2012).



Gambar 3. Bagian *real* sinyal FMCW keluaran radar (Mahafza, 2009).

Berdasarkan nilai f_1 dan f_2 dalam Gambar 2b, jarak R dan kecepatan relatif v_r target dapat ditentukan menggunakan Persamaan 3 dan Persamaan 4 berturut-turut. Resolusi jarak Δr radar FMCW dapat ditentukan menggunakan persamaan 5. Dimana c adalah kecepatan cahaya $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ dan B adalah lebar pita (Kissinger, 2012).

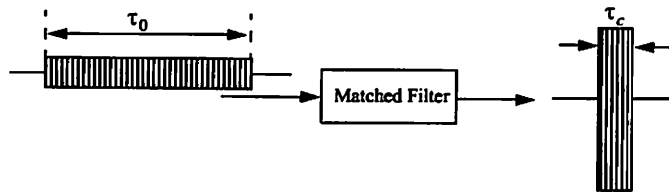
$$R = \frac{cT_p}{2B} \frac{f_1 + f_2}{2} \dots\dots\dots (3)$$

$$v_r = \frac{c}{2f_c} \frac{f_1 - f_2}{2} \dots\dots\dots (4)$$

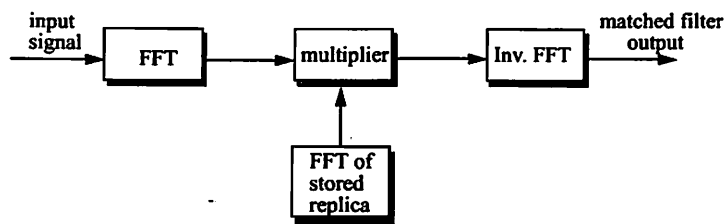
$$\Delta R = \frac{c}{2B} \dots\dots\dots (5)$$

Dalam pengolahan sinyal radar, resolusi jarak dapat ditingkatkan tanpa mengurangi SNR menggunakan teknik *pulse compression*, yaitu dengan memampatkan sinyal dengan lebar τ_0 menjadi τ_c seperti ditunjukkan dalam Gambar 4. Teknik ini dikembangkan menggunakan *match filter*, yaitu dengan cara mengalikan hasil FFT sinyal yang diterima dengan FFT replika sinyal yang dikirim, seperti ditunjukkan dalam Gambar 5. *Match filter* merupakan sistem linier *time invariant* yang keluarannya merupakan hasil konvolusi dari input $s(t)$ dengan respon impuls $h(t)$, seperti dijelaskan oleh Persamaan 6. (Mahafza, 2009).

$$y(t) = s(t) * h(t) \dots\dots\dots (6)$$



Gambar 4. Ilustrasi teknik *pulse compression* (Mahafza, 2009).



Gambar 5. Blok diagram *match filter* (Mahafza, 2009).

3 METODOLOGI

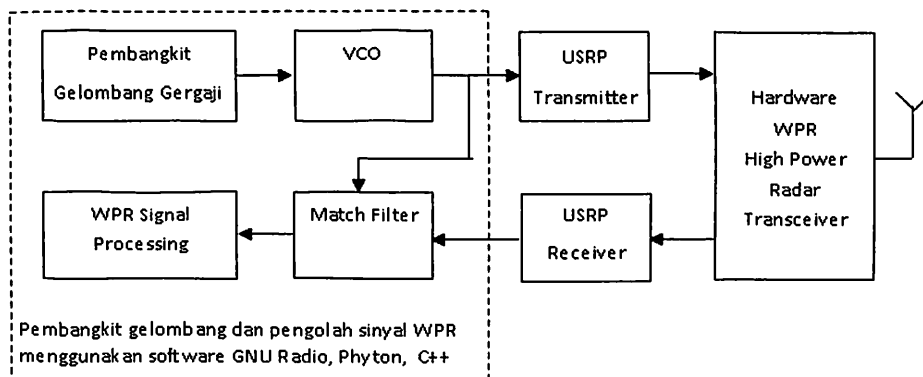
3.1 Perancangan

Ecklund (1987) menyebutkan bahwa pertimbangan desain WPR untuk *boundary layer* adalah sebagai berikut.

- Sistem radar harus sederhana, tidak mahal, dan menggunakan antena kecil dengan medan jauh kurang dari 100 m.
- Antena sebaiknya dipasang rendah terhadap permukaan atau diberi pelindung untuk meminimalkan *clutter* tanah.
- *Recovery* sistem radar harus cukup cepat untuk mendapatkan pengukuran terbaik pada ketinggian paling rendah 100 m di atas permukaan.
- Mempunyai resolusi ketinggian 100 m atau lebih tinggi.
- Harus cukup sensitif untuk mendapatkan data pada ketinggian 2-3 km pada kondisi atmosfer standar.

Frekuensi yang banyak dan sukses digunakan pada WPR untuk *boundary layer* adalah 915 MHz. Namun, frekuensi ini mempunyai kelemahan yaitu cukup sensitif terhadap hidrometeor. Pada saat terjadi presipitasi, frekuensi 915 MHz akan mendapatkan hasil pengukuran profil angin terbaik pada kondisi presipitasi stratiform (Ecklund et al, 1987).

FMCW WPR berbasis GNU Radio yang akan dibangun terdiri dari pembangkit gelombang kontinu termodulasi frekuensi linier dengan frekuensi 915 MHz berbasis GNU Radio, pengolah sinyal WPR berbasis Python dan C++, USRP pemancar, USRP penerima, *hardware WPR transceiver*, dan pengolah sinyal WPR. Blok diagram FMCW WPR yang akan dibangun ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Blok diagram FMCW WPR yang akan dikembangkan.

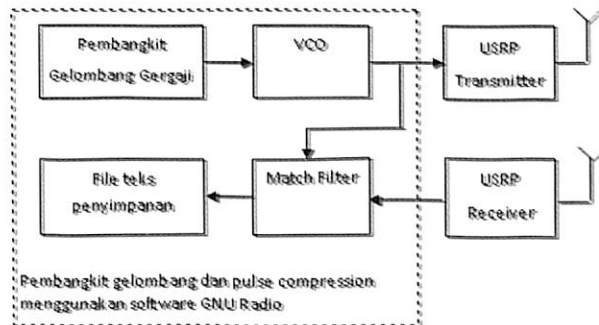
Tabel 1. Spesifikasi sistem radar yang dirancang.

Parameter	Nilai
Frekuensi Tengah	915 MHz
Daya puncak transmisi	30 W
Tipe transmitter	Solid State RF
Frekuensi IF	50-70 MHz
Tipe Antena	Microstrip array
Teknik Pengukuran	Spaced Antenna

Pembangkitan gelombang FMCW menggunakan pembangkit gelombang gergaji dan VCO dilakukan memanfaatkan GNU Radio dan USRP N210. Sinyal keluaran USRP N210 kemudian dikuatkan dan dipancarkan oleh perangkat keras daya tinggi WPR *transceiver*. Sinyal radar yang dihamburkan oleh ketidakteraturan indeks bias atmosfer akan diterima oleh antena radar. Selanjutnya sinyal yang diterima akan diolah oleh USRP N210 dan GNU Radio hingga dihasilkan data biner yang dapat langsung diolah oleh sistem pengolahan sinyal WPR. Spesifikasi antena dan perangkat keras daya tinggi FMCW WPR yang dirancang merujuk pada hasil pengembangan Frasier (Lopez, 2009), seperti ditunjukkan dalam Tabel 1. Namun, berbeda dengan rancangan Frasier yang menggunakan antena parabola, radar yang didesain ini akan menggunakan susunan antena mikrostrip yang dayanya merupakan gabungan dari daya beberapa antena mikrostrip, seperti yang dikembangkan Carter (1995) dan Law (2002). Spesifikasi tersebut diharapkan mampu mendeteksi angin dengan resolusi 6 m dan jarak jangkauan hingga 3 km.

3.2 Realisasi Awal

Dalam hasil awal ini yang telah dilakukan adalah rancang bangun pembangkit gelombang FMCW berbasis GNU Radio menggunakan USRP N210 yang dilengkapi dengan *daughterboard* RFX900, bentuk keduanya ditunjukkan dalam Gambar 8. Keluaran VCO ditransmisikan oleh USRP transmitter kemudian diterima oleh USRP *receiver*. Hasil *pulse compression* menggunakan *match filter* terhadap sinyal yang diterima disimpan dalam file teks. Blok diagram pengembangan tahap awal ini ditunjukkan dalam Gambar 7.



Gambar 7. Blok diagram pengembangan awal FMCW WPR.

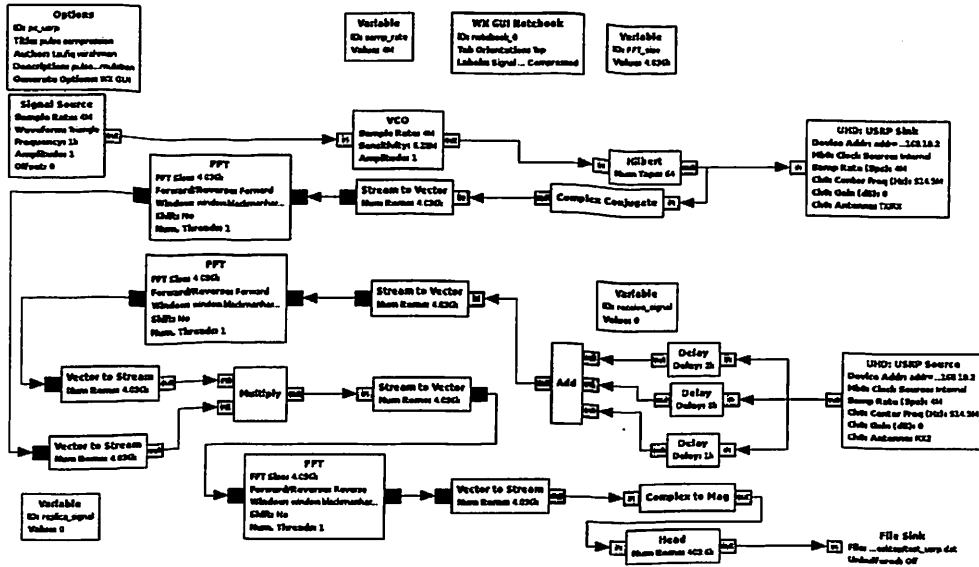


Gambar 8. USRP N210 (kiri), daughterboard RFX900 (tengah), dan antenna 824-960 MHz (kanan).
(Sumber: <http://www.ettus.com>)

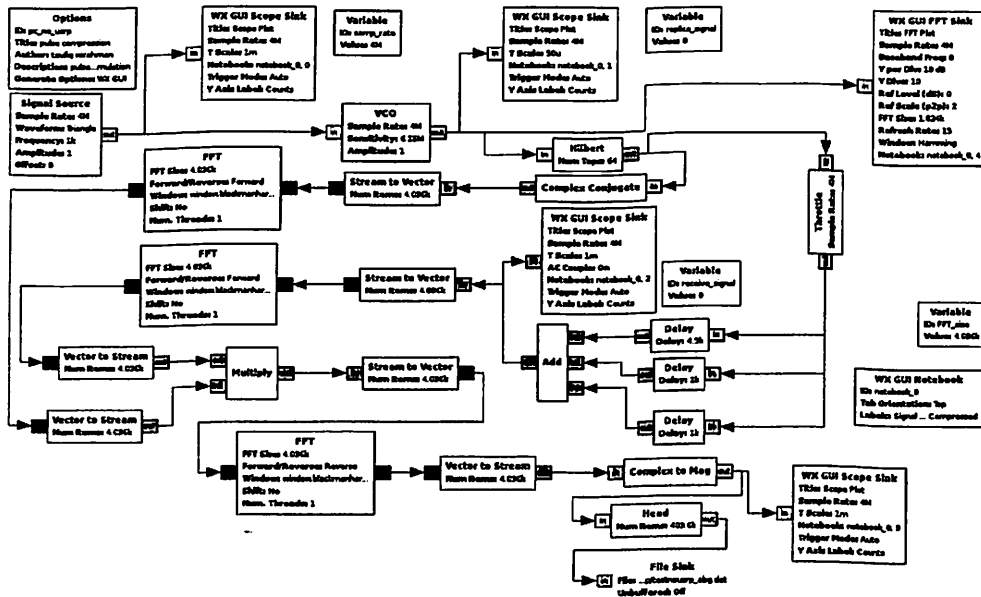
Tabel 2. Spesifikasi rancangan awal.

Parameter	Value
Center Frequency	914.5 MHz
Chirp bandwidth	1 MHz
Chirp waveform	Triangle
Chirp period	1 ms
System sampling rate	4Msample/s
Max unambiguous range	150 km
FFT size	4096
Jarak target	[37500 75000 12500] m
Delay sample	[1000 2000 3000]
Delay time	[0.25 0.5 0.75] ms

Untuk merealisasikan rancangan awal tersebut, dibuat spesifikasi rancangan seperti ditunjukkan dalam Tabel 2. Realisasi rancangan tersebut dalam GNU Radio ditunjukkan dalam Gambar 9. Dalam program GNU radio tersebut keluarannya adalah sinyal yang ditransmisikan oleh USRP N210 *transmitter* dan masukannya adalah sinyal yang diterima oleh USRP N210 *receiver*.



Gambar 9. Program GNU Radio rancangan awal dengan USRP.



Gambar 10. Program GNU Radio rancangan awal tanpa USRP.

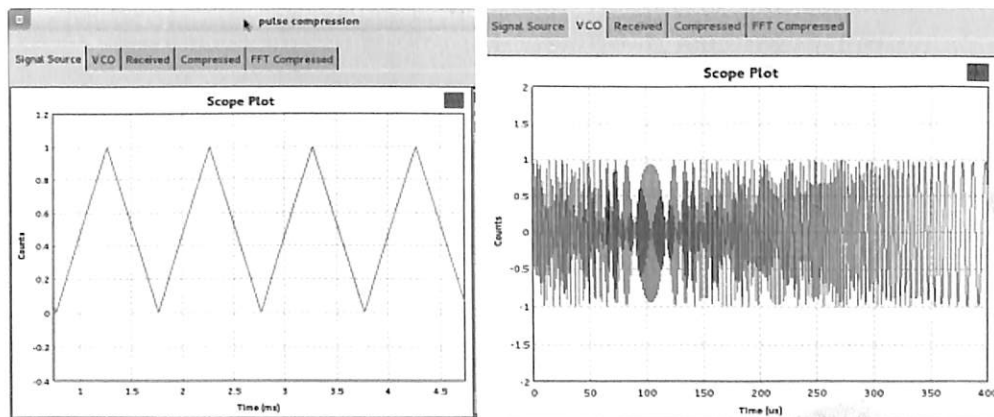
Dalam uji coba ini digunakan tiga buah target buatan yang dibuat menggunakan modul *delay* GNU Radio, yaitu 37500 m, 75000 m, dan 112500 m. Target buatan ini digunakan karena USRP dioperasikan di dalam ruangan sehingga banyak pantulan yang timbul dari dinding dan benda sekitar, sehingga perlu dibuat

target lain yang berbeda jaraknya agar teknik *pulse compression* dapat dilihat jelas hasilnya.

Untuk keperluan analisis hasil awal program GNU Radio menggunakan USRP, maka dilakukan juga uji coba program GNU Radio dengan rancangan yang sama tetapi tanpa USRP, seperti ditunjukkan dalam Gambar 10. Dalam hal ini USRP digantikan dengan *Throttle block* yang berfungsi membatasi *throughput* data sesuai dengan laju sampling agar tidak memberatkan kerja komputer.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

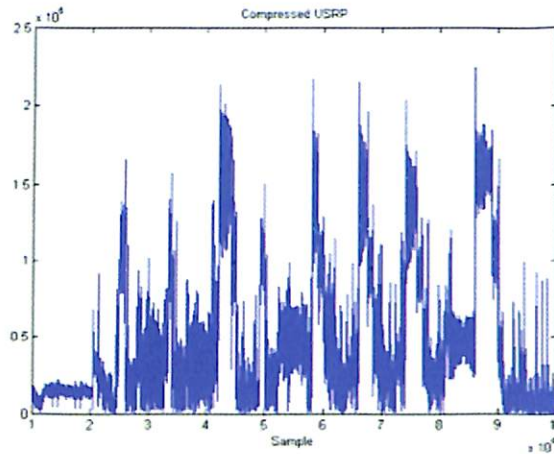
Setelah program GNU Radio pada PC yang telah terhubung dengan USRP N210 dijalankan, dihasilkan tampilan sinyal segitiga masukan VCO dan sinyal FMCW keluaran seperti dalam Gambar 11. Terlihat bahwa sinyal segitiga masukan VCO mempunyai amplitude 1 dan periode 1,75 ms dengan bentuk sinyal sesuai persamaan 1. Sinyal ini memodulasi sinyal sinusoida sehingga dihasilkan sinyal FMCW yang frekuensinya maksimumnya berada di tengah periode sinyal segitiga masukannya, sesuai persamaan 2.



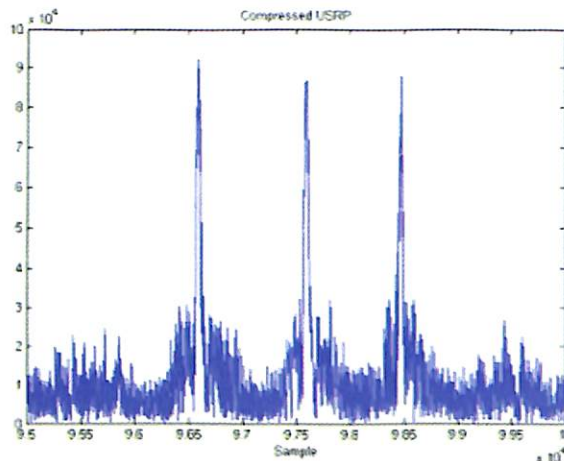
Gambar 11. Sinyal *segitiga* masukan VCO (kiri) dan sinyal FMCW keluaran VCO yang akan ditransmisikan (kanan).

Setelah ditransmisikan oleh USRP N210 *transmitter*, sinyal hamburan dari target di sekelilingnya diterima oleh USRP N210 *receiver*. Sinyal yang diterima USRP *receiver* kemudian dimasukkan ke *match filter* dan hasilnya disimpan dalam *file* teks. Tampilan cuplikan sinyal yang diterima oleh USRP N210 sebagai masukan *match filter* dan sinyal keluaran *match filter* hasil

pengolahan data menggunakan Matlab ditunjukkan dalam Gambar 12.



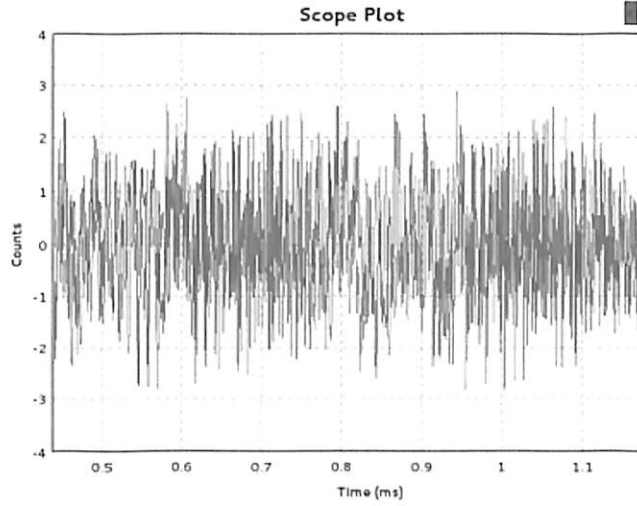
(a)



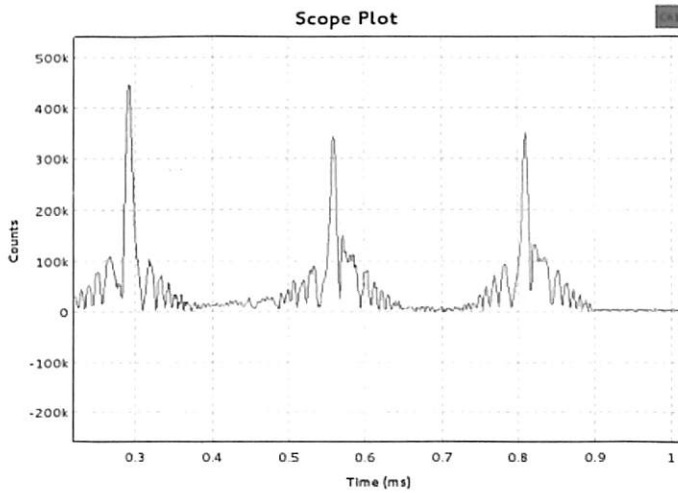
(b)

Gambar 12. (a) Sinyal *echo* yang diterima USRP N210 (b) Sinyal keluaran *match filter* (kanan).

Sinyal tersebut kemudian dibandingkan dengan cuplikan sinyal yang diterima sistem penerima dengan metode umpan balik tanpa USRP beserta hasil *pulse compression*-nya, seperti ditunjukkan dalam Gambar 13. Sebagai perbandingan juga, dicantumkan Gambar 14 yang juga menunjukkan sinyal *echo* FMCW, yang berasal dari sinyal transmisi dalam Gambar 3, beserta hasil *pulse compression*-nya yang dihasilkan oleh simulasi menggunakan MATLAB (Mahafza, 2009).

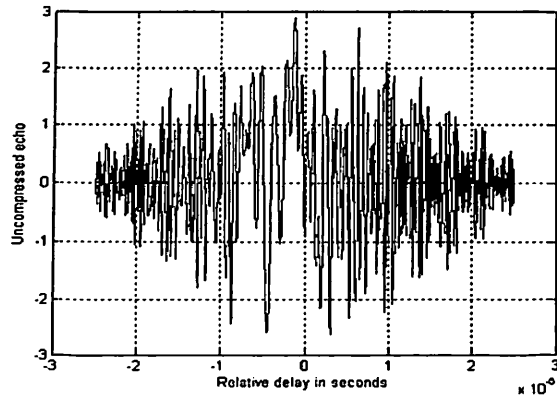


(a)

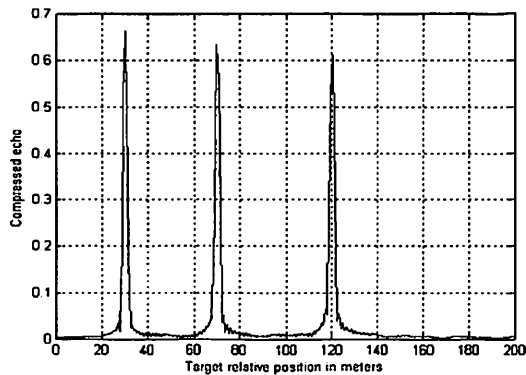


(b)

Gambar 13. (a) Sinyal umpan balik yang diterima sistem penerima pada skema tanpa USRP (b) Sinyal keluaran *match filter* untuk sinyal umpan balik.



(a)



(b)

Gambar 14. (a) Contoh sinyal *echo* dari sinyal FMCW yang dipantulkan 3 target (b) Sinyal keluaran *match filter* untuk sinyal *echo* 3 target. (Sumber: Mahafza, 2009)

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa skema dengan USRP menghasilkan sinyal yang berbeda dengan skema tanpa USRP menggunakan metode umpan balik. Terlihat bahwa cuplikan sinyal yang diterima oleh USRP N210 mengandung banyak *noise* dan mengalami distorsi. Hal ini dikarenakan sinyal USRP ditransmisikan di dalam ruangan. Namun setelah melewati *match filter* ketiga, target yang dihasilkan oleh *block delay* masih dapat terdeteksi dengan baik seperti pada skema tanpa USRP. Dalam hal ini *match filter* telah berhasil meredam *noise*, sehingga dengan teredamnya *noise* dan meningkatnya sinyal hasil pendeteksian target dapat disimpulkan terjadi peningkatan SNR dari sinyal yang diterima.

Dalam aplikasi nyatanya nanti, sinyal FMCW akan ditransmisikan ke arah atmosfer dalam kondisi udara yang cerah sehingga *noise* dan distorsi akan lebih minimal. Hasil uji coba ini dapat dijadikan dasar untuk pengembangan lebih lanjut radar *wind profiler*.

5 KESIMPULAN DAN SARAN

Telah dilakukan rancang bangun FMCW WPR berbasis GNU Radio dan USRP untuk pengamatan *boundary layer* atmosfer. Hasil uji coba awal menunjukkan bahwa GNU Radio dan USRP N210 dapat digunakan sebagai pembangkit gelombang FMCW sekaligus penerimanya. Program match filter dapat dikembangkan menggunakan GNU Radio dan terbukti mampu meningkatkan hasil pendeteksian sehingga target dapat jelas terdeteksi walaupun terdapat *noise* dan terjadi distorsi sinyal.

DAFTAR RUJUKAN

- Carter, D. A, K. S. Gage, W. L. Ecklund, W. M. Angevine, P. E. Johnston, A. C. Riddle, J. Wilson, C. R. Williams, 1995: Developments in UHF Lower Tropospheric Wind Profiling at NOAA's Aeronomy Laboratory, *Radio Science*, **30**, Issue 4, 977-1001
- Costanzo, S, dkk. 2013: Potentialities of USRP-Based Software Defined Radar Systems, *Progress in Electromagnetics Research B*, **53**, 417-435
- Ecklund, W.L., D.A. Carter, and B.B. Balsley, 1987: A UHF Wind Profiler for the Boundary Layer: Brief Description and Initial Results. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*
- Gomez, C. A., 2010: An UHF FMCW Wind Profiler Development and Results, Tesis di Engenharia de Telecomunicacio Universitat Politecnica de Catalunya
- Kissinger, D., 2012: Millimeter-Wave Receiver Concepts for 77 GHz Automotive Radar in Silicon-Germanium Technology, *SpringerBriefs in Electrical and Computer Engineering*, DOI 10.1007/978-1-4614-2290-72, ©Springer Science + Business Media, LLC
- Law, D. C, S. A. McLaughlin, M. J. Post, B. L. Weber, D. C. Welsh, and D. E. Wolfe, 2002: An Electronically Stabilized Phased Array System for Shipborne Atmospheric Wind Profiling, *Journal Of Atmospheric And Oceanic Technology*, **19**, 924-933
- Lopez, D.G., 2009: An UHF Frequency-Modulated Continuous

- Wave Wind Profiler - Receiver and Audio Module Development. Tesis di Enginyeria de Telecomunicacio Universitat Politecnica de Catalunya
- Mahafza, B.R., 2009: *Radar Signal Analysis And Processing Using Matlab*. Chapman & Hall/CRC. International Standard Book Number-13: 978-1-4200-6643-2
- Prabaswara, A., A. Munir and A. B. Suksmono, 2011: GNU Radio based software-defined FMCW radar for weather surveillance application. International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA), 227-230
- Sitompul, P., A. B. Suksmono, A. Munir, A.E. Prasetiadi, 2012: Testing of FMCW Radar by Implementation USRP and GNU Radio and Analisis. Prosiding Icramet 2012
- Withers, N. 2009: A Pulsed-Doppler-Effect Radar Wind Profiler Transceiver Using GNU Radio and the Universal Software Radio Peripheral. Thesis of Department of Engineering Australian National University
- Yamamoto, MK, dkk. 2013: Development of a digital receiver for range imaging atmospheric radar. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. In Press
- Vaisala. *Wind Profiling History, Principles, and Applications Technical Notes*. September 2002. <http://www.vaisala.com>. Diakses Juni 2014
- Wikipedia. *Radiosonde*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Radiosonde>. Diakses Juli 2014