

ANALISIS KEMAMPUAN RADAR NAVIGASI LAUT *FURUNO* 1932 MARK-2 UNTUK PEMANTAUAN INTENSITAS HUJAN [ANALYSIS OF *FURUNO* MARINE RADAR 1932 MARK-2 CAPABILITY TO OBSERVE RAIN RATE]

Asif Awaludin, Ginaldi Ari Nugroho, Soni Aulia Rahayu
Peneliti Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, LAPAN
email: asif_aw@yahoo.co.id
Diterima 6 Maret 2013; Disetujui 15 Mei 2013

ABSTRACT

Indonesia has many areas prone to floods and landslide so that an early warning system to such disasters is required. The research analyzed the capability of *Furuno marine* radar 1932 Mark-2 as a low cost alternative solution to weather radar by analyzing its specification followed by experiment and test of its weakness as a disaster early warning system instrument through development of acquisition system and radar signal processing. According to the specification, its radar *scanner* unit is compatible for rain detection but need volume correction for wide vertical beam width. The *display unit* is not compatible because its *plotter* is monochrome and its *clutter* is actually rain. Experiment and test results have proved that the radar was able to detect rainfall movement with reflectivity values observed between 15-30 dBZ. Rain gauge measurement confirmed that the reflectivity of 30 dBZ was rain with rate of 5.4 mmh⁻¹. Relation between detected Z and R did not match with Marshall Palmer equation, as reflectivity value of 30 DBZ will produce rainfall of 2.7 mmh⁻¹. Therefore, it is necessary to find the representing Z and R relation by calibrating its reflectivity using rain gauge measurement data.

Keywords: *Radar Reflectivity Factor, Marine Radar, Rain Rate*

ABSTRAK

Indonesia mempunyai banyak daerah rawan banjir dan tanah longsor sehingga diperlukan sistem peringatan dini terhadap bencana tersebut. Radar cuaca merupakan salah satu alternatifnya, akan tetapi harganya mahal, sehingga diperlukan radar cuaca alternatif yang biayanya murah. Dalam penelitian ini dilakukan analisis kemampuan radar navigasi laut *Furuno* 1932 Mark-2 sebagai solusi radar cuaca biaya murah dengan menganalisis spesifikasinya kemudian membuat eksperimen dan pengujian untuk mencoba solusi kelemahannya melalui pengembangan sistem akuisisi dan pengolah sinyal radar. Menurut spesifikasinya, unit *scanner* radar memenuhi syarat untuk pendeteksian hujan, hanya membutuhkan koreksi volume untuk lebar berkas vertikal yang lebar. Sedangkan unit *display*-nya belum memenuhi karena *plotter*-nya masih satu warna dan penghilang *clutter*-nya menganggap hujan sebagai *clutter*. Dari hasil eksperimen dan pengujian dapat diketahui bahwa radar ini mampu digunakan untuk mendeteksi pergerakan hujan dengan nilai reflektivitas yang terpantau antara 15-30 dBZ. Hasil pengukuran *rain gauge* menunjukkan pada reflektivitas 30 dBZ tersebut terpantau hujan dengan intensitas 5,4 mm/jam. Hubungan antara (Z) dan (R) yang terdeteksi tidak sesuai dengan persamaan Marshall Palmer, karena nilai 30 dBZ menghasilkan intensitas hujan 2,7 mm/jam. Oleh karena itu dalam penelitian selanjutnya perlu dicari hubungan Z dan R yang sesuai untuk radar ini melalui kalibrasi nilai reflektivitas menggunakan data hasil pengukuran *rain gauge*.

Kata kunci: *Faktor Reflektivitas Radar, Radar Navigasi Laut, Intensitas Hujan*

1 PENDAHULUAN

Saat ini Indonesia menempati urutan ketiga di dunia sebagai negara yang paling rawan dan paling sering dilanda bencana banjir, setelah India dan China. Salah satu bencana banjir besar di Indonesia adalah banjir yang melanda Jakarta dan sekitarnya pada pertengahan Januari 2013 yang menyebabkan Jakarta dinyatakan dalam keadaan darurat. Banjir ini sebenarnya sudah dimulai sejak Desember 2012 dan baru mencapai puncaknya pada Januari 2013.

Oleh karena itu, diperlukan adanya upaya pendeteksian dini terhadap faktor-faktor penyebab timbulnya banjir dan tanah longsor. Salah satu upayanya adalah pemantauan intensitas hujan yang terjadi di wilayah Indonesia secara terus menerus. Berbagai teknologi telah dikembangkan untuk pemantauan intensitas hujan, diantaranya radar cuaca dan satelit. Teknologi satelit mampu melakukan pemantauan curah hujan dengan cakupan yang sangat luas, akan tetapi memiliki resolusi yang rendah dan tidak semua daerah terpantau olehnya. Teknologi radar, walaupun cakupannya lebih sempit dibandingkan teknologi satelit, mempunyai resolusi yang tinggi dan dapat dipasang di daerah manapun yang rawan banjir dan tanah longsor. Akan tetapi teknologi radar cuaca yang ada saat ini masih sangat mahal, untuk itu diperlukan solusi alternatif teknologi radar cuaca yang murah dan handal.

Penelitian ini bermaksud mencari salah satu alternatif teknologi radar cuaca yang murah dan handal, yaitu dengan menganalisis kemampuan radar navigasi laut *Furuno* 1932 Mark-2 yang belum menggunakan teknik doppler dalam pendeteksian targetnya dan harganya jauh lebih murah dibandingkan radar cuaca doppler untuk pemantauan intensitas hujan. Radar *Furuno* 1932 yang digunakan dalam penelitian ini adalah milik Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer LAPAN. Radar ini merupakan radar yang dipakai di kapal laut untuk mendeteksi kapal lain dan daratan yang ada disekitarnya. Dibandingkan dengan radar cuaca, sistem radar jenis ini masih mempunyai beberapa kekurangan yang membuatnya belum mampu secara langsung memantau intensitas hujan. Kekurangan tersebut antara lain sistem tampilannya masih menggunakan monitor *Cathode-Ray Tube* (CRT) monokrom dengan 8 level kuantisasi warna hijau sehingga apabila diaplikasikan di daerah daratan sulit untuk membedakan antara target hujan, daratan dan bangunan. Selain itu, sistem penghilang *clutter*-nya berfungsi menghilangkan *clutter* gelombang laut dan hujan yang merupakan target dari radar cuaca sehingga target hujan tertutupi oleh target daratan atau bangunan.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis kekurangan radar navigasi laut *Furuno* 1932 Mark-2 untuk pendeteksian hujan kemudian melakukan eksperimen solusi masalah tersebut dan selanjutnya menganalisis hasilnya untuk menentukan kemampuan dan kelayakannya dalam pendeteksian hujan. Dengan diketahuinya kemampuan radar ini dalam pendeteksian hujan diharapkan dapat menjadi solusi dalam pengembangan radar cuaca untuk peringatan dini banjir dan tanah longsor.

2 PRINSIP PENDETEKSIAN HUJAN OLEH RADAR

Radar cuaca tidak mengukur hujan secara langsung, akan tetapi mengukur jumlah energi yang dipantulkan oleh partikel-partikel dalam satu volume sampel. Faktor kunci yang menghubungkan antara energi yang dipantulkan dengan curah hujan adalah faktor reflektivitas radar Z (mm^6m^{-3}).

Persamaan radar cuaca (2-1) menjelaskan hubungan antara daya yang diterima, konstanta karakteristik radar, konstanta karakteristik target dan jarak antara radar dengan target (dalam Uijlenhoet, 2001). Dalam hal ini target adalah tetes hujan.

$$\bar{P}_r = \frac{C|K|^2 Z}{r^2} \tag{2-1}$$

dimana \bar{P}_r daya rata-rata yang diterima dari butiran hujan pada jarak r (km), C adalah konstanta karakteristik hujan, $|K|^2$ adalah koefisien dari konstanta dielektrik air ($\sim 0,93$) dan Z (mm^6m^{-3}) adalah faktor reflektivitas radar yang kemudian disebut secara singkat dengan reflektivitas radar. Semua parameter radar terkandung dalam C , dan semua parameter butiran hujan terkandung dalam $|K|^2$ dan Z . Sedangkan Z terkait dengan distribusi ukuran butiran hujan dalam volume sampel radar, seperti dijelaskan dalam persamaan (2-2) (dalam Uijlenhoet, 2001).

$$Z = \int_0^\infty D^6 N_v(D) dD \tag{2-2}$$

Dimana $N_v(D)$ ($\text{mm}^{-1}\text{m}^{-3}$) merupakan distribusi ukuran butiran hujan yang menjelaskan seberapa banyak butiran hujan dari tiap diameter D yang terkandung dalam satu satuan volume, misalnya 1m^3 . Oleh karena itu, meskipun Z merupakan faktor reflektivitas radar, tetapi sebenarnya kuantitas meteorologi murni yang independen terhadap parameter radar. Dalam prakteknya, nilai Z mempunyai kisaran orde yang besar sehingga digunakan skala logaritmik untuk mengekspresikannya. Nilai reflektivitas radar dalam logaritmik adalah $10 \log Z$ dan diekspresikan dengan satuan dBZ.

Persamaan (2-1) dapat digunakan untuk mendapatkan nilai Z berdasarkan daya yang diterima radar seperti dijelaskan dalam persamaan (2-3) (dalam Uijlenhoet, 2001).

$$Z = \frac{\bar{P}_r r^2}{C|K|^2} \tag{2-3}$$

Estimasi nilai Z menggunakan persamaan ini hanya untuk kondisi sempurna, yaitu jika kalibrasi radar sempurna, hamburan yang terjadi adalah hamburan Rayleigh dan tidak terjadi atenuasi. Dalam kenyataannya, kondisi ini hampir tidak pernah terjadi. Oleh karena itu nilai reflektivitas radar tersebut seringkali disebut dengan faktor reflektivitas radar efektif Z_e (Uijlenhoet, 2001). Namun bagaimanapun, pengukuran Z yang sempurna sekalipun belum mampu memberikan estimasi intensitas hujan R yang sempurna.

Jika efek dari angin *updraft* dan *downdraft*, turbulensi dan interaksi antar butiran hujan diabaikan, curah hujan (stasioner) R (mm/jam) akan terkait dengan distribusi ukuran butiran hujan $N_v(D)$ berdasarkan persamaan (2-4) (Uijlenhoet, 2001).

$$R = 6\pi \times 10^{-4} \int_0^\infty D^3 v(D) N_v(D) dD \tag{2-4}$$

dimana $v(D)$ merupakan fungsi hubungan antara kecepatan jatuh terminal butiran hujan saat masih di udara v (ms^{-1}) dengan diameter butiran hujan ekuivalen D (mm).

Hubungan antara faktor reflektivitas radar Z dengan intensitas hujan R ditunjukkan dalam persamaan (2-5) (dalam Uijlenhoet, 2001).

$$Z = aR^b \tag{2-5}$$

dimana a dan b adalah koefisien yang nilainya berbeda untuk tiap lokasi dan musim, tetapi tidak bergantung pada intensitas hujan. Kedua koefisien ini lebih merupakan karakter meteorologis dari suatu lokasi atau musim tertentu atau lebih spesifik lagi tipe curah hujannya (misalnya stratiform, konvektif, atau orografis). Marshall dan Palmer (1948) menemukan hubungan Z dan R seperti persamaan (2-6) yang berhasil

diterapkan di berbagai belahan dunia dengan berbagai tipe curah hujan khususnya intensitas hujan 1 sampai 50 mm/jam.

$$Z = 200R^{1,6} \tag{2-6}$$

3 RADAR NAVIGASI LAUT FURUNO 1932 MARK-2

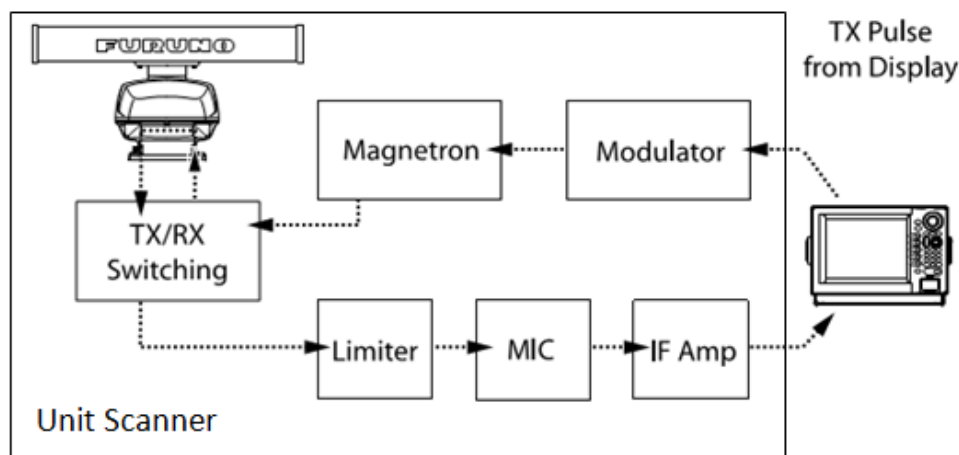
Radar navigasi laut *Furuno* 1932 Mark-2 adalah radar yang digunakan pada kapal laut untuk mendeteksi kapal lain, daratan maupun benda lain di sekitarnya. Dengan bantuan radar ini, seorang navigator kapal akan mendapatkan rute yang aman dan cepat bagi kapalnya, meskipun di malam hari, cuaca yang berkabut gelap, atau di pelabuhan yang padat kapalnya. Spesifikasi radar ini ditunjukkan dalam Tabel 3-1 (*Furuno*, 2013).

Tabel 3-1: SPESIFIKASI RADAR FURUNO 1932 MARK-2

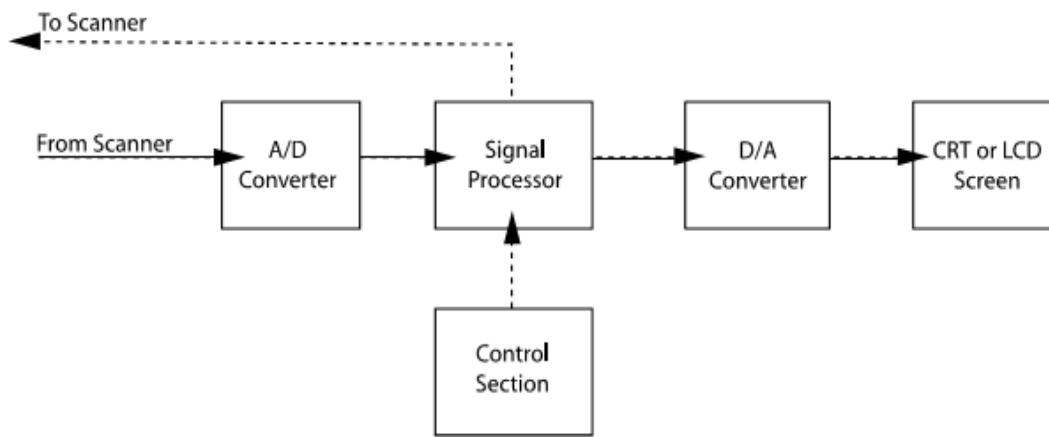
Parameter	Spesifikasi
Frekuensi	X Band (9410±30 MHz)
Power Output	4 kW
Jarak Maksimum	60 km
Kecepatan rotasi antena	24 rpm
Jenis antena	3.5 ft <i>centre-fed waveguide slotted array</i>
Lebar berkas sinyal	Vertikal: 27°, Horisontal: 2,4°
Lebar pulsa sinyal	0.08µs/2100Hz, 0.3µs/1200Hz, 0.8µs/600Hz
Jenis polarisasi	Horisontal
Frekuensi Intermediate	60 MHz. Bandwidth 25 MHz (0.08/0.3 µs), 3MHz (0.8µs)
Teknik Doppler	Tidak ada

Sumber : *Furuno*, 2013

Sistem radar navigasi laut terdiri dari unit *scanner* dan unit *display*. Unit *scanner* merupakan sistem *transceiver* yang tersusun dari antena, Tx/Rx *Switching*, magnetron, modulator, *limiter*, *Microwave Integrated Circuit* (MIC), dan IF amp. Blok diagram rangkaian dan peralatan yang terdapat dalam unit *scanner* ditunjukkan dalam Gambar 3-1. Sedangkan unit *display* radar ini tersusun dari *A/D converter*, *signal processor*, *control section*, *D/A converter* dan layar CRT seperti ditunjukkan dalam Gambar 3-2.



Gambar 3-1: Rangkaian dan peralatan penyusun unit *scanner* (*Furuno*, 2013)



Gambar 3-2: Perangkat penyusun unit *display*. (Furuno, 2013)

4 EKSPERIMEN DAN ANALISIS

4.1 Analisis Spesifikasi Radar Navigasi Laut *Furuno 1932 Mark-2*

Untuk dapat diaplikasikan sebagai radar cuaca, spesifikasi radar navigasi laut *Furuno 1932 Mark-2* harus mendukung untuk pendeteksian butiran hujan. Frekuensi pada band X yang dimiliki radar ini sangat mendukung untuk pendeteksian butiran hujan dengan peka hingga butiran yang lebih kecil seperti butiran awan hujan dan salju. Akan tetapi, tidak adanya teknik Doppler membuat kemampuan ini tidak dapat dioptimalkan.

Dengan daya keluaran 4kW, radar ini mampu mendeteksi target bangunan atau daratan hingga 60km. Apabila digunakan untuk mendeteksi butiran hujan maka jarak maksimumnya akan turun. Umumnya radar cuaca band X yang mempunyai daya 4kW hanya mampu mendeteksi butiran hujan hingga 30km, misalnya *Local Area Weather Radar (LAWR)* (Pedersen, 2004). Kelemahan lain dari daya ini adalah apabila terjadi hujan yang sangat deras di lokasi radar, maka pendeteksian akan mudah menjadi kabur karena atenuasi.

Antena yang digunakan dalam radar ini tidak dilengkapi dengan motor untuk pergerakan elevasi sehingga hanya bisa digunakan untuk satu elevasi saja. Meskipun demikian, antena ini memiliki lebar berkas vertikal yang lebar yaitu 27° . Untuk aplikasi pendeteksian hujan, lebar berkas vertikal yang dapat digunakan hanya setengahnya yaitu $13,5^\circ$ yang masih jauh lebih besar dibandingkan lebar berkas radar cuaca yang hanya berkisar 4° , sehingga mampu menjangkau elevasi yang lebar.

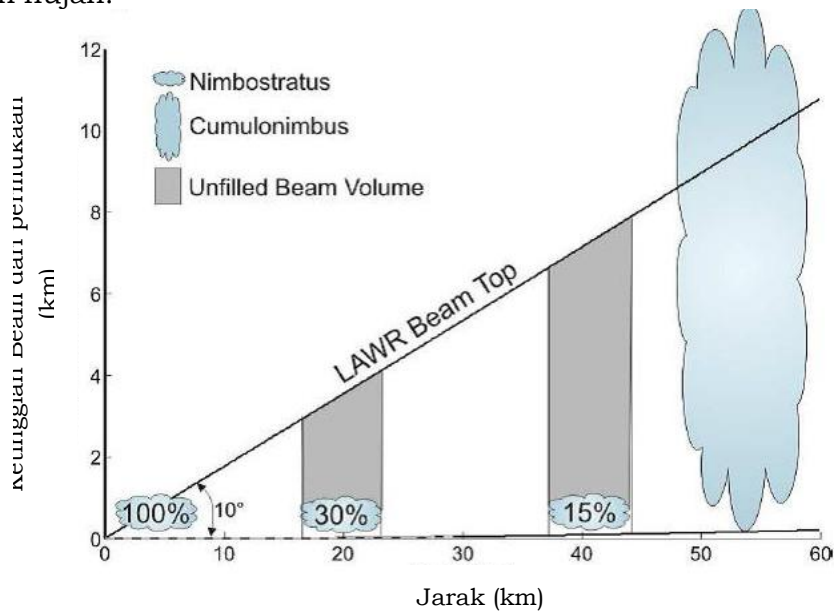
Namun hal ini juga menimbulkan masalah karena sejumlah kecil tetes hujan dalam volume sampel pada jarak yang sangat dekat, dimana volume berkasnya masih kecil, akan terpantau dengan baik, sedangkan sejumlah tetes hujan yang sama dalam volume sampel pada jarak yang lebih jauh akan menghasilkan nilai yang sangat rendah karena terjadi integrasi beberapa volume. Hal ini diilustrasikan dalam Gambar 4-1 (DHI, 2012). Untuk mengatasi masalah ini diperlukan koreksi volume terhadap sinyal hasil pendeteksian. Selain itu semua, polarisasi horisontal yang dimiliki antena ini memungkinkan radar untuk mendeteksi butiran hujan dengan sangat baik mengingat bentuk butiran hujan adalah lonjong dalam sisi horisontal.

Sistem tampilan unit *display* radar ini masih menggunakan monitor CRT monokrom dengan 8 *level* kuantisasi warna hijau sehingga sangat sulit membedakan antara target hujan, daratan dan bangunan. Untuk itu perlu dibangun sistem tampilan yang baru dengan *range* warna yang lebar. Selain itu, sistem penghilang *clutter*-nya berfungsi menghilangkan *clutter* hujan dan meloloskan target daratan atau bangunan, sehingga hujan akan tertutup oleh target daratan atau bangunan. Konsekuensinya, sistem pendeteksian faktor reflektivitas radar tidak dimiliki oleh radar ini. Hal ini

berbeda dengan radar cuaca yang sistem penghilang clutter-nya berfungsi menghilangkan clutter daratan atau bangunan dan meloloskan target hujan. Untuk itu perlu dibangun sistem penghilang clutter baru seperti pada radar cuaca yang dilengkapi dengan pendeteksian faktor reflektivitas radar.

4.2 Eksperimen Solusi Kelemahan

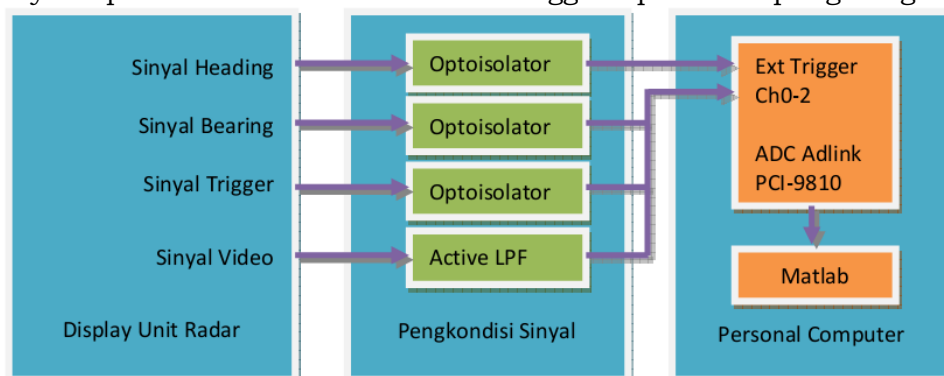
Untuk dapat menganalisis kemampuan radar navigasi laut ini dalam pendeteksian butiran hujan, perlu dilakukan eksperimen berupa pengembangan perangkat keras dan lunak untuk solusi beberapa kelemahan berdasarkan hasil analisis sebelumnya. Perangkat keras dan lunak yang dikembangkan antara lain sistem akuisisi sinyal radar dan sistem pengolah sinyal hasil akuisisi untuk menggantikan peran unit display radar dalam mengolah data dan menampilkan hasil pendeteksian hujan.



Gambar 4-1: Ilustrasi masalah lebar berkas vertikal yang besar (DHI, 2012)

4.2.1 Sistem akuisisi sinyal radar

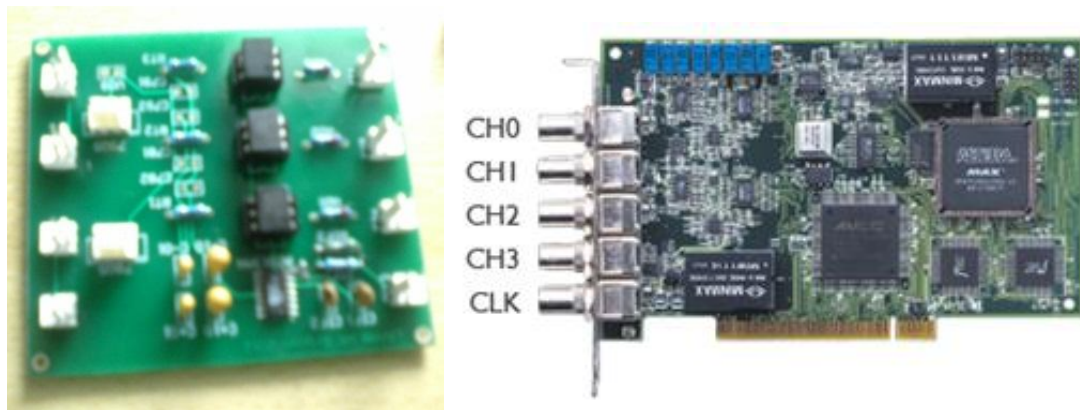
Sistem akuisisi sinyal radar yang dikembangkan berfungsi menyampling sinyal radar yang telah dipantulkan oleh target dan diterima oleh sistem penerima radar. Sistem akuisisi ini terdiri dari rangkaian pengkondisi sinyal dan rangkaian ADC ADLink PCI-9810 seperti ditunjukkan dalam Gambar 4-2. Rangkaian pengkondisi sinyal disini terdiri dari rangkaian pengkonversi tegangan berbasis optoisolator dan rangkaian low pass filter aktif anti aliasing yang berfungsi mengkondisikan sinyal keluaran display unit radar navigasi laut Furuno 1932 Mark-2 agar sesuai dengan standar sinyal input ADC ADlink PCI-9810 sehingga dapat disampling dengan benar.



Gambar 4-2: Sistem akuisisi sinyal radar

Sinyal radar yang akan diakuisisi diambil dari salah satu konektor dalam unit *display* radar. Sinyal tersebut ada empat, yaitu sinyal *trigger*, *video*, *bearing*, dan *heading*. Sinyal *trigger* merupakan sinyal pulsa dengan tegangan +12 V yang menunjukkan adanya transmisi sinyal radar, sedangkan sinyal *video* merupakan sinyal pantul *baseband* dari target yang diterima oleh radar dengan amplitudo tegangan amplitudo antara 0 sampai -4 V. Sinyal *bearing* juga merupakan sinyal pulsa +12 V yang menandakan sudut arah berkas sinyal antenna radar sebanyak 450 pulsa sinyal persatu putaran antenna. Sinyal *heading* merupakan sinyal pulsa -12 V yang menentukan titik 0° arah putaran antenna yang terjadi pada tepi turun sinyal. Bentuk sinyal *trigger*, *video* dan *bearing* ditunjukkan dalam Gambar 4-5.

Sinyal *trigger*, *bearing*, dan *heading* merupakan sinyal pulsa dengan nilai amplitudo 0 dan +12 V. Karena ketiga sinyal ini akan disampling menggunakan ADC PCI-9810 yang mempunyai *range input* -5 V sampai +5 V, maka diperlukan rangkaian pengkonversi tegangan +12 V menjadi +5 V (Li dan Zhuang, 2009). Salah satu faktor yang dipertimbangkan dalam desain ini adalah faktor isolasi antara rangkaian radar *Furuno* dengan rangkaian baru untuk menghindari gangguan yang dapat menyebabkan kerusakan pada rangkaian radar *Furuno*. Oleh karena itu, digunakan rangkaian *optoisolator* sebagai pengkonversi tegangan. Sinyal *video* sebelum dihubungkan ke masukan ADC perlu difilter terlebih dahulu untuk menghilangkan *noise* dan menghindari fenomena *aliasing* pada hasil penyamplingan ADC (Li and Zhuang, 2009). Filter yang digunakan adalah *high speed low pass filter* aktif Sallen-key dengan fungsi transfer $H(s)$ seperti persamaan (4-1) dan didesain dengan tipe *Butterworth* (Karki, 2000), dimana G adalah penguatan filter, R adalah nilai resistor dan C adalah nilai kapasitor yang dipakai. Bentuk realisasi rangkaian pengkondisi sinyal dan ADC ADLink PCI-9810 (ADLink, 2012) ditunjukkan dalam Gambar 4-3.



Gambar 4-3: Rangkaian pengkondisi sinyal (kiri) dan ADC ADLink PCI-9810 (kanan)

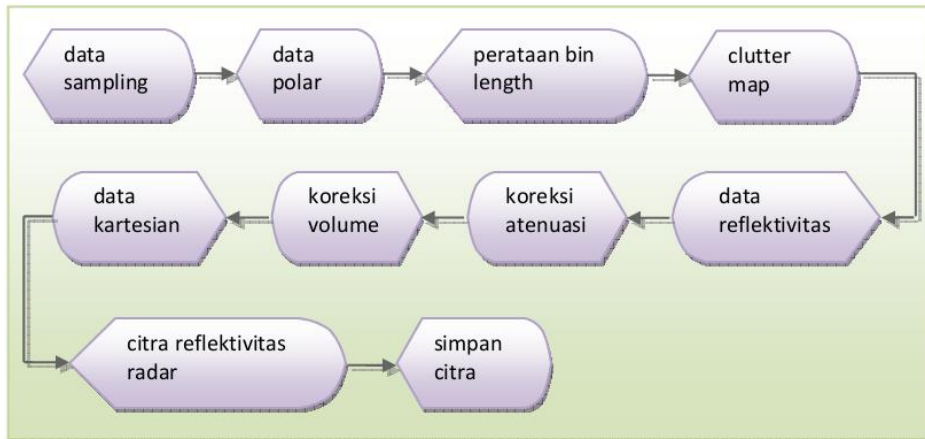
$$H(s) = \frac{G}{R^2 C^2 s^2 + RCs(3-G) + 1} \quad (4-1)$$

4.2.2 Sistem pengolahan sinyal radar

Sistem pengolah sinyal radar yang dibangun menggunakan perangkat lunak Matlab untuk menghasilkan data reflektivitas radar dari hujan yang terpantau oleh radar. Data reflektivitas tersebut haruslah mempunyai *range level* warna yang lebar dan sudah terbebaskan dari *ground clutter*. Sistem pengolah sinyal radar ini terdiri dari beberapa prosedur, yaitu ekstraksi data polar, perataan data tiap bin, penghilangan *ground clutter* menggunakan metode *clutter map*, pembuatan data reflektivitas dalam koordinat polar, koreksi atenuasi, koreksi volume, konversi data reflektivitas dari koordinat polar menjadi kartesian, serta pembuatan citra reflektivitas dan

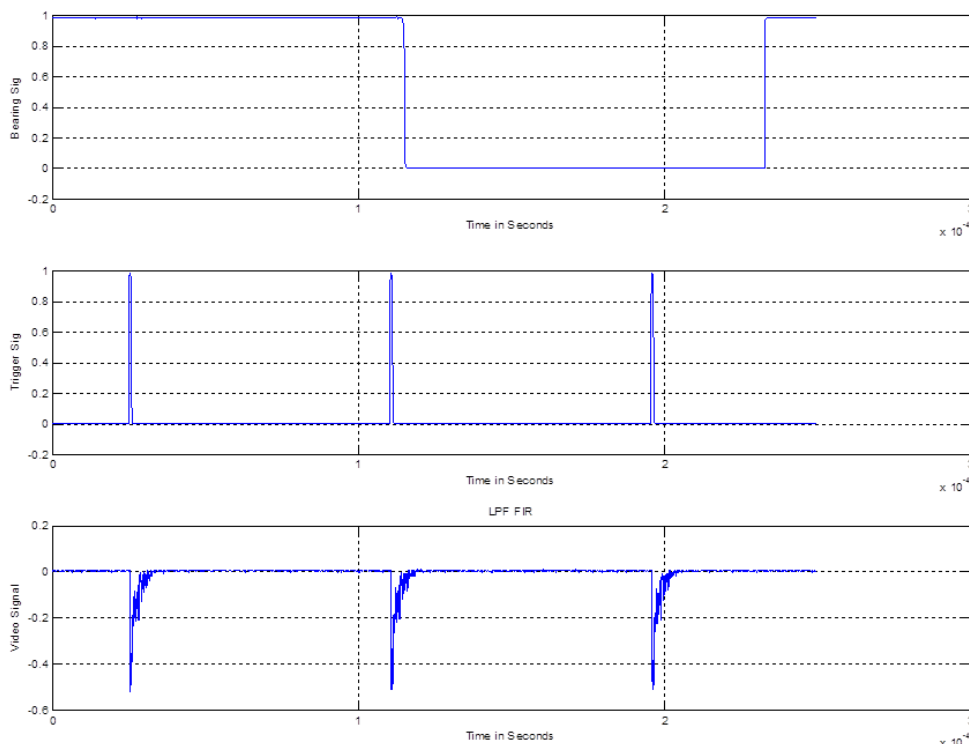
penyimpanannya. Blok diagram sistem pengolah sinyal radar ditunjukkan dalam Gambar 4-4.

Ekstraksi data polar dilakukan untuk mendapatkan data r dan θ dari data hasil sampling. Nilai r dalam koordinat polar didapatkan menggunakan persamaan (2-1), sedangkan θ didapatkan dengan menghitung banyaknya pulsa trigger dan bearing. Dalam satu putaran antenna radar terdapat 450 periode pulsa sinyal *bearing* sehingga setiap pulsa *bearing* memberikan penambahan $0,8^\circ$ pada θ . Dalam setiap pulsa *bearing* terdapat tiga sampai sepuluh pulsa trigger tergantung lebar pulsa sinyal radar yang digunakan, misalkan terdapat tiga pulsa maka setiap pulsa trigger memberikan penambahan $0,267^\circ$ pada θ , sebagaimana dapat diamati dalam Gambar (4-5).



Gambar 4-4: Blok diagram sistem pengolah sinyal radar

Perataan data tiap *bin* dilakukan karena radar hanya mampu mendeteksi satu target untuk setiap *bin*. Lebar bin sama dengan resolusi radar yang ditentukan berdasarkan persamaan (2-1) dengan nilai Δt adalah lebar pulsa sinyal radar. Untuk lebar pulsa $0,8 \mu s$ maka lebar bin atau resolusi radarnya adalah 120m. Dengan menggunakan frekuensi sampling 2,5 MHz maka jarak samplingnya adalah 60m, sehingga dalam setiap bin didapatkan dua data. Data tiap *bin* merupakan nilai rata-rata kedua data tersebut.

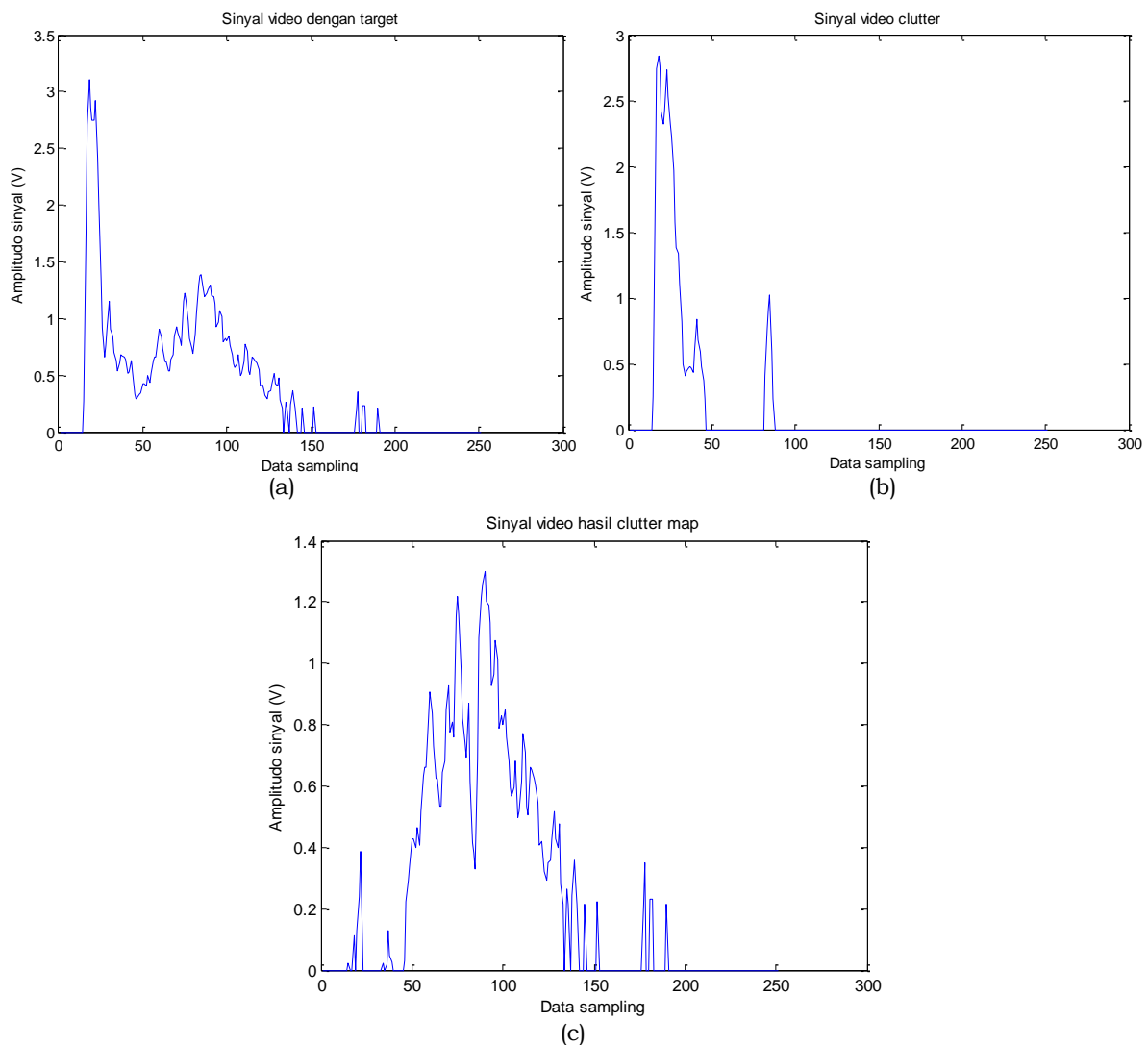


Gambar 4-5: Hasil sampling sinyal radar secara bersamaan menggunakan ADC dan Matlab: (a) sinyal bearing, (b) sinyal trigger, (c) sinyal video

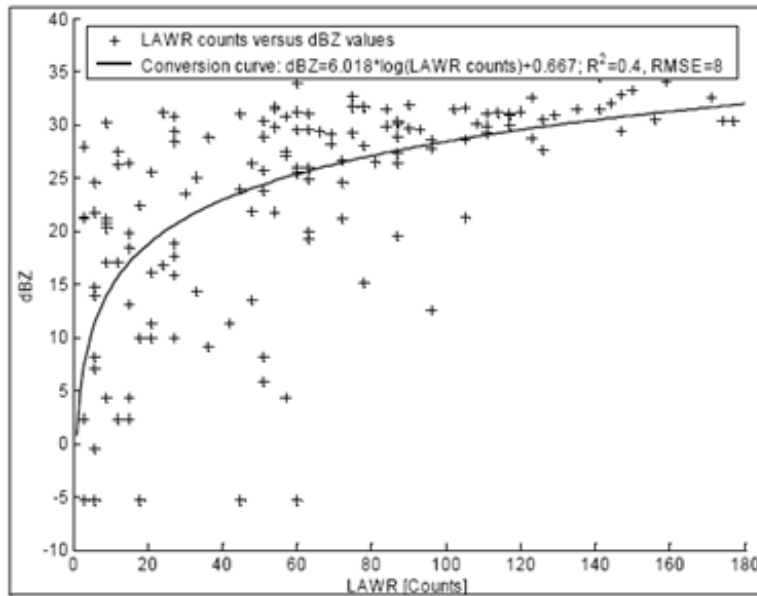
Data setiap *bin* dalam koordinat polar tersebut kemudian dihilangkan *ground clutter*-nya menggunakan metode *clutter map*, yaitu dengan mengurangi sinyal video yang mengandung *clutter* dan hujan dengan sinyal video yang hanya mengandung *clutter* saja untuk setiap *scanline* (DHI, 2013 dan Savina, 2011). Hasil proses *clutter map* yang dilakukan ditunjukkan dalam Gambar 4-6, memperlihatkan bahwa metode *clutter map* telah mampu mereduksi *ground clutter*. Selanjutnya data yang telah dihilangkan *clutter*-nya digunakan untuk mendapatkan data reflektivitas menggunakan persamaan (4-2) dan (4-3) yang dikemukakan oleh Pederson (2004) untuk pengembangan *Local Area Weather Radar* menggunakan radar navigasi laut *Furuno 1832 Mark-2* yang hanya berbeda tipe antena dan lebar berkasnya dengan radar *Furuno 1932 Mark-2*. Nilai *ADCcount* diperoleh dengan mengubah data koordinat polar yang merupakan data 10 bit menjadi data 8 bit. Grafik persamaan (4-2) ditunjukkan dalam Gambar 4-7, memperlihatkan bahwa nilai maksimum reflektivitas yang dapat dipantau mendekati 35 dBZ.

$$dBZ = 6,02 \times \ln(ADCcount) + 0,67 \tag{4-2}$$

$$Z = 10^{\left(\frac{dBZ}{10}\right)} \tag{4-3}$$



Gambar 4-6: Hasil proses *clutter map* terhadap sinyal hasil sampling : (a) sinyal video berisi hujan dan *clutter*, (b) sinyal video berisi *clutter*, (c) sinyal video hasil pengurangan kedua sinyal tersebut



Gambar 4-7: Grafik reflektivitas terhadap ADCcount. (Pederson, 2004)

Nilai reflektivitas Z yang didapatkan kemudian dikoreksi untuk kompensasi atenuasi sinyal radar menggunakan persamaan (4-4) (DHI, 2013). Nilai Z hasil koreksi atenuasi kemudian dikoreksi kembali untuk kompensasi terkait lebar berkas vertikal yang sangat lebar menggunakan persamaan (4-5) (DHI, 2013). Hasil koreksi atenuasi dan koreksi volume terhadap hasil pengukuran ditunjukkan dalam Tabel 4-1, terlihat bahwa seiring bertambahnya jarak, faktor koreksi atenuasi dan volume juga bertambah besar.

$$Z_r = Z_{g,r} \left(1 + \frac{\alpha \sum_{i=0}^{r-1} Z_i}{C_1 n_{samples}} \right) \tag{4-4}$$

Dimana Z_r merupakan nilai reflektivitas hasil koreksi atenuasi pada jarak r (mm^6/m^3). $Z_{g,r}$ adalah nilai reflektivitas sebelum koreksi pada jarak r (mm^6/m^3). Jumlah sampel dalam satu *scan-line* disimbolkan dengan $n_{samples}$. α dan C_1 merupakan konstanta empiris, yang nilai tipikalnya adalah 1,5 dan 200.

$$Z_{rv} = Z_r \left(\frac{1}{C_2 \exp(rC_3)} \right) \tag{4-5}$$

Pada persamaan 4-5, Z_{rv} mengindikasikan reflektivitas hasil koreksi volume pada jarak r (mm^6/m^3). Untuk reflektivitas hasil koreksi atenuasi pada jarak r (mm^6/m^3) disimbolkan dengan Z_r . Simbol r digunakan untuk jarak target (km), sedangkan C_2 dan C_3 merupakan konstanta empiris, nilai awalnya adalah 1 dan -0,03.

Pembuatan citra reflektivitas dilakukan dengan tahap pertama mengubah data reflektivitas dari koordinat polar menjadi koordinat kartesian menggunakan persamaan (4-6) dan (4-7). Data dalam koordinat kartesian tersebut kemudian dibuat *grid*-nya seluas 500x500, sesuai dengan jumlah data dalam setiap *scanline* sebanyak 500 untuk jarak maksimum 30km. Setelah *grid* dibuat maka data siap dibuat citranya menggunakan perintah *imagesc* dalam Matlab. Citra yang telah dibuat kemudian disimpan menggunakan perintah *imwrite*.

$$x = r \sin(\theta - 90) \tag{4-6}$$

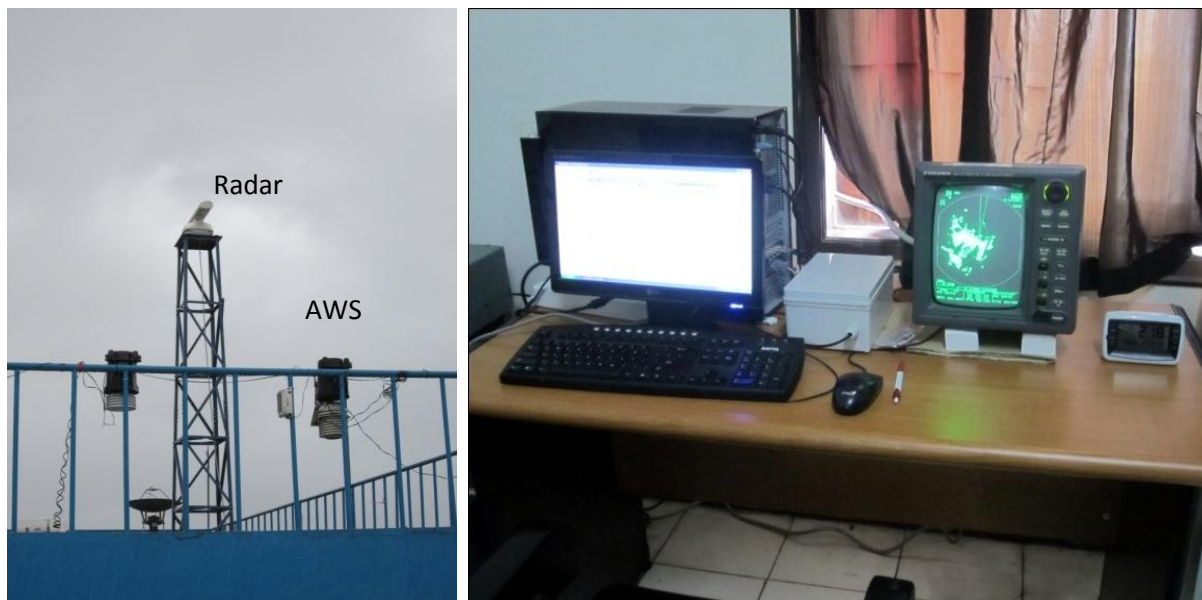
$$y = r \cos(\theta - 90) \tag{4-7}$$

Tabel 4-1: DATA KOREKSI ATENUASI DAN VOLUME HASIL PENGUKURAN

Jarak (m)	Reflektivitas Awal (mm^6/m^3)	Faktor Koreksi Atenuasi	Faktor Koreksi Volume	Hasil koreksi (mm/m^3)
2040	8,0523	1,0002	1,0631	8,5625
3960	243,0817	1,0147	1,1261	277,7612
5400	308,8665	1,1149	1,1759	404,9183
7680	271,1238	1,302	1,2591	444,4674
9480	64,4249	1,351	1,329	115,6673
11880	95,7507	1,3936	1,4282	190,5708
14280	74,4805	1,4409	1,5348	164,7083

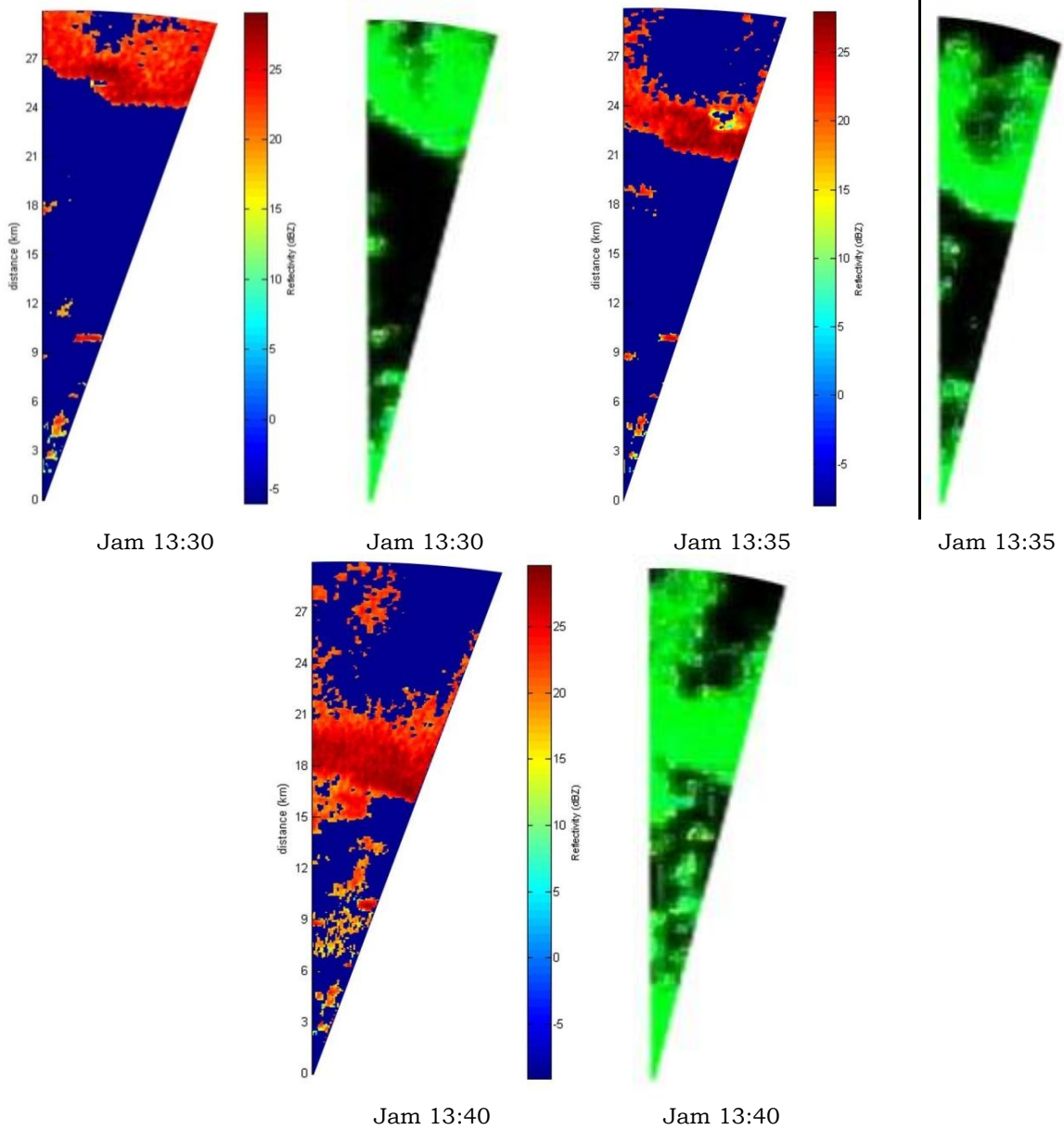
4.3 Hasil Pengujian dan Analisisnya

Pengujian dan pengukuran dilakukan di kantor Lapan Bandung, yaitu di koordinat -6.894966° LS dan 107.586468° BT. Unit *scanner* radar *Furuno* 1932 yang di sebelahnya terdapat AWS yang memiliki *rain gauge* berada di lantai lima (puncak gedung), sedangkan unit *display* beserta sistem akuisisi dan sistem pengolah sinyal radar berada di lantai dua, seperti ditunjukkan dalam Gambar 4-8. Radar tersebut digunakan untuk memantau target hujan yang bergerak mendekati ke arah radar.

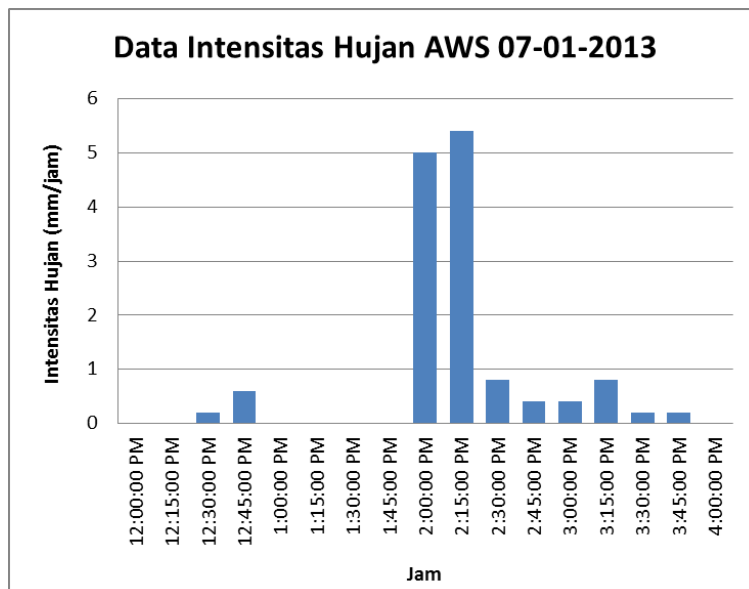


Gambar 4-8: Foto unit *scanner* radar yang dilengkapi *rain gauge* (kiri) dan unit *display* beserta sistem akuisisi dan sistem pengolah sinyal radar (kanan)

Radar *Furuno* 1932 yang telah dilengkapi sistem akuisisi dan pengolah sinyal radar ini digunakan untuk memantau hujan pada tanggal 7 Januari 2013 pada jam 13:00, dan hasilnya berupa citra reflektivitas yang kemudian dibandingkan dengan tampilan *plotter* unit *display* radar. Untuk eksperimen ini, sampel yang diambil hanya untuk sudut pengamatan antara $0^\circ - 16^\circ$. Hasil pengujian ini ditunjukkan dalam Gambar 4-9 memperlihatkan bahwa pergerakan hujan terdeteksi dengan baik dan *ground clutter* yang berada di jarak antar 0-3 km dapat tereduksi dengan baik. Nilai reflektivitas radar dari hujan yang berhasil dideteksi mempunyai nilai antara 15 sampai 30 dBZ. Berdasarkan data *rain gauge* AWS pada Gambar 4-10 dapat dilihat saat hujan yang bergerak tersebut telah sampai di lokasi radar yaitu pada pukul 14:00, intensitas hujan yang terpantau adalah 5,4 mm/jam yang merupakan hujan yang sangat deras.



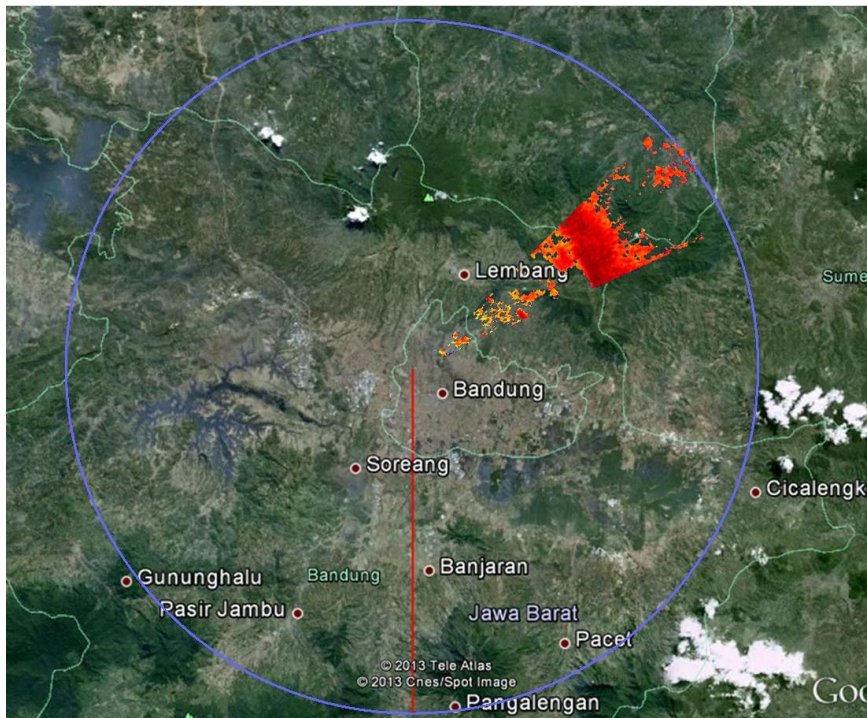
Gambar 4-9: Perbandingan data reflektivitas radar hasil dari sistem akuisisi dan pengolahan sinyal radar (kiri) dengan tampilan *plotter* unit *display* radar (kanan)



Gambar 4-10: Data intensitas hujan AWS pada 7 Januari 2013

Berdasarkan hasil pengujian, nilai reflektivitas 30 dBZ hasil pemantauan radar merupakan hasil pendeteksian terhadap hujan dengan intensitas 5,4 mm/jam. Hubungan antara Z dan R yang terdeteksi tidak sesuai dengan persamaan (2-6) dari Marshall Palmer (1948), karena nilai 30 dBZ apabila dimasukkan dalam persamaan tersebut dihasilkan intensitas hujan 2,7 mm/1jam. Oleh karena itu perlu dicari hubungan Z dan R yang sesuai untuk radar ini.

Aplikasi radar ini untuk pemantauan curah hujan dengan lokasi radar berada kantor Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer LAPAN Bandung sangat bermanfaat untuk pendeteksian dini banjir dan tanah longsor karena lokasi rawan bencana tersebut di daerah Bandung dan sekitarnya, yaitu daerah Banjaran, Ciwidey dan Cililin masuk dalam jangkauan maksimal radar sejauh 30 km. Hal ini dapat diamati pada *overlay* nilai reflektivitas pada Google Map seperti ditunjukkan dalam Gambar 4-11.



Gambar 4-11: *Overlay* nilai reflektivitas pada Google Map

Berdasarkan hasil eksperimen dan pengujian ini dapat diketahui bahwa radar *Furuno* 1932 Mark-2 dapat dijadikan solusi yang rendah biaya untuk pengembangan radar pemantau intensitas hujan. Radar ini telah mampu menampilkan nilai reflektivitas hujan hasil pendeteksian dengan range warna reflektivitas yang lebar dan bebas dari *ground clutter* sehingga dapat memudahkan pengguna. Kekurangan yang masih ada terkait hubungan Z dan R dapat diatasi dengan kalibrasi nilai reflektivitas menggunakan data hasil pengukuran *rain gauge* yang representatif.

5 KESIMPULAN

Radar *Furuno* 1932 Mark-2 mempunyai dua bagian, yaitu unit *scanner* dan unit *display*. Untuk diaplikasikan sebagai radar pendeteksi intensitas hujan, spesifikasi unit *scanner*-nya telah memenuhi syarat, hanya membutuhkan koreksi volume untuk lebar berkas vertikalnya yang sangat lebar. Sedangkan unit *display*-nya belum memenuhi syarat, karena tampilan *plotter*-nya yang masih satu warna dengan 8 level degradasi dan sistem penghilang *clutter*-nya masih menganggap hujan sebagai *clutter* bukan sebagai target sehingga dibutuhkan sistem akuisisi dan pengolah sinyal radar yang sesuai untuk pendeteksian hujan.

Berdasarkan hasil eksperimen dan pengujian melalui pengembangan sistem akuisisi dan pengolah sinyal radar, dapat diketahui bahwa radar ini mampu digunakan untuk mendeteksi pergerakan hujan dengan nilai reflektivitas yang terpantau antara 15-30 dBZ. Hasil pengukuran *rain gauge* menunjukkan pada reflektivitas 30 dBZ tersebut terpantau hujan dengan intensitas 5,4 mm/jam. Hubungan antara Z dan R yang terdeteksi tidak sesuai dengan persamaan Marshall Palmer, karena nilai 30 dBZ menghasilkan intensitas hujan 2,7 mm/jam. Oleh karena itu perlu dicari hubungan Z dan R yang sesuai untuk radar ini melalui kalibrasi nilai reflektivitas menggunakan data hasil pengukuran *rain gauge* yang representatif.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Halimurrahman, MT dan Prof. Chunaeni Latief atas pemberian kesempatan penelitian, dorongan, masukan, dan bantuannya. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dr. Joko Suryana dan Prof. Tian-You Yu atas bimbingan, diskusi, dan masukannya.

DAFTAR RUJUKAN

- Adlink, 2012. *PCI-9812/9812A/9810*, ADlink Technology Inc.
- DHI, 2012. *DHI – Local Area Weather Radar LAWR Documentation Version 3.2*. <http://radar.dhigroup.com/lawr/>.
- Furuno, 2013. *Furuno Operator’s Manual Marine Radar Model 1832/1932/1942*, Furuno Electric Co Ltd., Nishinomiya, Japan, <http://www.Furunousa.com>.
- Li, S. and Zhuang, X., 2009. *Navigation Radar Signal Acquisition and Measurement System*, Proceeding of The Ninth International Conference on Electronics Measurement and Instruments.
- Karki, J., 2000. *Active Low Pass Filter Design*, Texas Instruments Corporated Application Report SLOA049A.
- Mahafza, BR., 2009. *Radar Signal Analysis and Processing Using Matlab*, Taylor and Francis Group LLC. Boca Raton. USA.
- Marshall, J. S. dan Palmer, W. M. K., 1948. *The Distribution of Raindrops wiith Size*. Journal of Meteorology. Vol 5, Hal 165–166.
- Pedersen, L., 2004. *Scaling Properties Of Precipitation - Experimental Study Using Weather Radar And Rain Gauge*, Tesis Pada Faculty of Engineering and Science Department of Civil Engineering Aalborg University, Aalborg, Denmark.
- Savina, M., 2011. *The Use of a Cost Effective X-Band Weather Radar in Alpine Region*, A dissertation for degree of Doctor of Sciences, Institute of Environmental Engineering ETH Zurich.
- Uijlenhoet, R., 2001. *Raindrop Size Distributions and Radar Reflectivity-Rain Rate Relationship for Radar Hydrology*, Hydrology and Earth System Sciences, 5(4), 615-627.