

SISTEM RADAR SEBAGAI ALAT INDIKASI SASARAN BERGERAK

Yudho Dewanto
Biro KSH
e-mail: dewanto_y@yahoo.co.id

RINGKASAN

Radar adalah suatu sistem gelombang elektromagnetik yang berguna untuk mendeteksi, mengukur jarak dan membuat map benda-benda seperti pesawat terbang, berbagai kendaraan bermotor dan informasi cuaca. Di samping itu alat ini juga mampu mendeteksi sasaran bergerak yang posisinya berada di kejauhan dalam kondisi cuaca buruk hujan lebat, berkabut maupun gelap pada malam hari. Penerima radar mendeteksi sinyal reflektansi berupa pantulan (*echo*) yang di hambur balikkan. Salah satu komponen utama radar adalah *Moving Target Indication (MTI)*. Alat ini berfungsi sebagai penjumlah pengurang yang akan menghilangkan (*subtractor*) sinyal diam berasal dari *fix target* dan hanya menampilkan pulsa bergerak yang berasal dari *moving target*. Berdasarkan kemampuannya, radar banyak digunakan negara-negara di seluruh dunia untuk kebutuhan transportasi penerbangan sebagai *Air Traffic Control (ATC)*. Hingga saat ini didalam perkembangannya, radar telah banyak digunakan untuk berbagai kebutuhan, diantaranya sebagai alat navigasi dan meteorologi. LAPAN sebagai lembaga litbang di bidang keantariksaan telah menggunakan radar untuk melakukan berbagai kegiatan penelitian, khususnya untuk pemantauan iklim dan cuaca pada wilayah katulistiwa.

1 PENDAHULUAN

Kemampuan mata manusia sebagai alat panca indera untuk tujuan mengamati keberadaan sasaran bergerak di udara (*vertical*) sangat terbatas. Jarak daya pandang (*visibility*) mata manusia untuk melihat suatu benda secara horizontal dengan jelas, pada umumnya tidak lebih dari 100 meter. Apalagi pada saat kondisi cuaca buruk sewaktu hujan berkabut atau gelap pada waktu malam hari, maka jarak cakupan dari *visibility* mata manusia akan mengalami penurunan jangkauannya. Untuk mengatasi kondisi seperti ini, maka diperlukan adanya suatu peralatan yang mampu berfungsi untuk mengamati dalam periode berulang secara terus menerus (*repetition period*) tentang keberadaan seluruh sasaran bergerak di angkasa dengan sudut elevasi minimum hingga maksimum. Peralatan yang dapat melakukan tugas seperti ini dan beroperasi menggunakan pancaran gelombang radio, dikenal dengan nama radar. Dilihat dari kemampuan dan

keunggulannya, maka radar berperan sebagai 'panca indera' yang dapat mendeteksi obyek seluruh sasaran bergerak yang berada di udara.

Informasi yang diperoleh dari radar, yaitu berupa jarak masing-masing obyek dari posisi radar, arah tujuan dan kecepatan terbangnya. Walaupun dalam kondisi cuaca buruk seperti hujan lebat berkabut atau waktu malam hari, spektrum radar masih dapat menembus untuk mengamati keberadaan seluruh sasaran bergerak dari kejauhan. Radar memiliki kemampuan dapat mengamati obyek seluruh sasaran bergerak pada jarak yang sangat jauh (ratusan km). Peralatan radar telah banyak digunakan untuk operasional sistem transportasi udara baik keperluan sipil maupun militer, navigasi dan meteorologi. Selain itu juga dapat digunakan untuk pengamatan dan pengawasan (*surveillance*) wilayah udara, pencegahan kegiatan-kegiatan ilegal, dan untuk mendukung sistem pertahanan keamanan nasional.

Berdasarkan lokasi dan kegunaannya, radar ada yang dipasang di bandara, di pesawat udara, dipinggir pantai, di kapal laut, di atas mobil, di atas panser, dan di tempat-tempat yang sangat dirahasiakan (Dunn III, et al, 2004).

Dalam sistem transportasi penerbangan, navigasi dan meteorologi, penggunaan sistem peralatan radar terlihat jelas pada pemakaian di bandara. Radar dapat mendukung sistem manajemen ATC (Wickens, and Christopher D, 1998). Pada sistem navigasi peralatan altimeter radar berupa altimeter elektronik, altimeter refleksi, altimeter radio, radio altimeter kisaran rendah merupakan sebuah alat ukur ketinggian di atas permukaan tanah dan di bawah pesawat terbang yang hingga saat ini masih digunakan. Sedangkan penggunaan radar pada sistem meteorologi, Radar Cuaca mampu mendeteksi gerakan tetesan hujan untuk menentukan intensitas curah hujan. Data dari radar dapat dianalisa untuk menentukan struktur badai dan potensi yang dapat menyebabkan cuaca buruk.

ATC merupakan suatu kendali dalam pengaturan lalu lintas udara. Tugasnya adalah untuk mengatur dan menjaga kelancaran lalu lintas udara bagi setiap sasaran bergerak yang akan lepas landas (*take off*), terbang di udara, maupun yang akan mendarat (*landing*). ATC juga berfungsi untuk memberikan layanan bantuan informasi berupa petunjuk maupun perintah (*command*) kepada seorang pilot tentang informasi cuaca, lalu lintas udara, situasi dan kondisi bandara yang dituju. Sampai saat ini, sistem peralatan radar yang sudah digunakan dan beroperasi di bandara di Indonesia adalah produksi negara Perancis dan ada beberapa yang diproduksi oleh negara Cekoslowakia (Wikipedia, 2014).

Radar dalam kegiatan militer digunakan untuk kebutuhan sistem pertahanan udara suatu negara. Peralatan radar ini beroperasi

menggunakan sinyal *trigger* untuk melakukan identifikasi sasaran (pesawat terbang). Radar akan melakukan *interogation* seperti: *call sign, type*, negara asal dan negara tujuan. Pesawat yang diinterogasi oleh bandara militer, kemudian akan menjawab sesuai dengan pertanyaan dari *interogator*. Pada peraturan penerbangan sipil, setiap pesawat terbang berasal dari negara lain yang melintas suatu negara harus memiliki *flight plan* dan izin *route* (jalur udara) serta dokumen resmi untuk melintas di atas wilayah negara asing (Wickens, and Christopher D, 1998), dan apabila tidak dapat diidentifikasi oleh radar melalui proses interogasi tersebut, maka pesawat dinyatakan sebagai *black flight*. Kondisi seperti ini, sesuai prosedur operasi pertahanan udara, maka pesawat di perintahkan oleh Pusat Operasi Pengendali Ruang Udara Wilayah mendarat ke bandara terdekat untuk dilakukan proses penyelidikan. Jika tetap tidak mau menuruti perintah Pusat Operasi, maka pesawat dipaksa mendarat (*force down*) oleh pesawat tempur (*flight leader*) dalam satuan khusus tugas untuk penyeragaman.

Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI) berada di kawasan regional *Association of Southeast Asian Nations* (ASEAN) yang terdiri dari kurang lebih sekitar 17.504 pulau. Berada di lokasi geografi seperti ini, negara kita dengan 34 provinsi memerlukan peralatan sistem radar yang handal untuk mengawasi wilayah RI. Dengan sistem alat deteksi ini, kita dapat mengantisipasi adanya pelanggaran wilayah udara, pembajakan dan penyelundupan di atas pesawat terbang lebih awal. Sehingga dilihat dari kemampuan dan keunggulannya, sistem radar dapat mendeteksi obyek pesawat terbang baik yang dikenali maupun tidak (*friend and foe*). Atas dasar itu, sistem peralatan ini dapat memantau udara di atas wilayah nusantara secara terus menerus, menjaga sistem

pertahanan dan keamanan negara Indonesia yang cukup luas serta memantau lalu lintas jalur penerbangan yang dilayani oleh berbagai industri aviasi nasional maupun internasional. Untuk optimalisasi hal ini, perlu mendapat perhatian dari berbagai instansi/lembaga pemerintah terkait keselamatan penerbangan, sesuai dengan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan dan Konvensi Chicago pada 7 Desember 1944 oleh *International Civil Aviation Organization* (ICAO). Dengan luas wilayah udara Indonesia seperti ini, maka di negara kita perlu dibangun suatu jaringan sistem radar yang terintegrasi atau *Airborne Early Warning* (AEW), sehingga dapat dengan mudah mendeteksi posisi, arah, tujuan, kecepatan atau mengidentifikasi keberadaan sasaran bergerak baik sipil maupun militer dari negara asing yang masuk ke wilayah negara kita secara ilegal.

Kemampuan radar untuk bidang meteorologi, dapat mengamati iklim dan cuaca pada lapisan atmosfer, troposfer dan stratosfer di wilayah khatulistiwa seperti yang dilakukan oleh para peneliti LAPAN. Alat radar yang digunakan, adalah Radar Atmosfer Khatulistiwa atau *Equatorial Atmosphere Radar* (EAR) yang berfungsi mengamati perilaku angin *meridional*, *zonal* serta *vertical/horizontal* atau turbulensi. Namun peralatan EAR masih memerlukan data radar ekuator lainnya, sehingga seluruh data radar ekuator, baik yang berada di Indonesia, maupun di luar Indonesia menjadi satu mata rantai sistem pemantauan iklim global di wilayah ekuator.

Tujuan dari penulisan makalah ini, adalah melakukan analisa sistem radar dalam melakukan deteksi obyek bergerak, mendeskripsikan secara singkat dinamika kebutuhan alat radar pada pelabuhan udara (bandara) untuk operasional mengatur lalu lintas udara (baik untuk sipil maupun militer) dan

penggunaan sistem radar pada stasiun bumi cuaca untuk melakukan, pengamatan dan pemantauan awan (khususnya untuk penelitian pada bidang meteorologi).

LAPAN hingga saat ini, turut serta berperan aktif dalam penyediaan data cuaca menggunakan radar, khususnya di wilayah ekuator. Informasi yang dihasilkan, kemudian disebarluaskan kepada stakeholder, masyarakat pengguna, serta melalui penerbitan Berita Dirgantara. Penyebarluasan informasi hasil litbang ini, diharapkan dapat dijadikan sebagai sumber informasi teknologi kedirgantaraan.

2 SEJARAH SINGKAT RADAR

Beberapa peneliti/penemu yang ahli di bidang fisika menggunakan gelombang radio untuk mendeteksi kehadiran obyek yang terbuat dari metal yang berada di kejauhan. Penelitian ini dilakukan pertama kali oleh Christian Hülsmeyer pada 1904 dan pada 1917 (Wikipedia, 2014), Nikola Tesla menciptakan alat baru yang bekerja menggunakan frekuensi dan pemancar gelombang radio untuk unit radar (Wikipedia, 2014). Prinsip kerja mengenai alat ini ditetapkan sebagai sistem peralatan radar generasi pertama.

Sebelum Perang Dunia ke 2, pengembangan teknologi sistem peralatan radar telah dilakukan oleh berbagai negara seperti: Amerika Serikat, Jerman, Perancis, Rusia dan Inggris. Beberapa dari negara tersebut berusaha untuk lebih unggul, yaitu melakukan pengembangan serta sekaligus menciptakan sistem radar dalam versi yang lebih modern. Pada 1934, seorang warga negara Perancis Émile Girardeau menyatakan bahwa telah membangun sistem radar dengan menggunakan prinsip yang dilakukan oleh Tesla dan berhasil, serta memperoleh penghargaan paten atas kerjanya membuat sistem radar (Wikipedia, 2014). Pada tahun yang sama, ahli Amerika Dr. Robert M.

Page melakukan uji coba radar *monopulse* yang pertama, dan ahli Rusia P.K. Oschepkov menghasilkan peralatan RAPID Radar yang dapat mendeteksi kendaraan pada radius 3 km. Kemudian Zoltan Ray ahli Hungaria menghasilkan model yang sama pada 1936 (Wikipedia, 2014).

Perkembangan dan kemajuan teknologi sistem radar sebagai alat deteksi sasaran bergerak ditandai dengan berhasilnya negara Inggris mengeksploitasi sistem peralatan radar untuk mendukung kepentingan pertahanan dan keamanan negara terhadap serangan pesawat udara Jerman. Seorang ahli bernama Robert Watson Watt warga negara Inggris pada 1936 telah berhasil mendemonstrasikan kemampuan prototip radar yang bekerja dengan baik di Bandara Heathrow London. Keberhasilan kinerja dari *prototip* ini sekaligus menjadi basis untuk jaringan sistem peralatan radar dalam rangka mempertahankan dan mengamankan negara kerajaan Inggris Raya (Wikipedia, 2014).

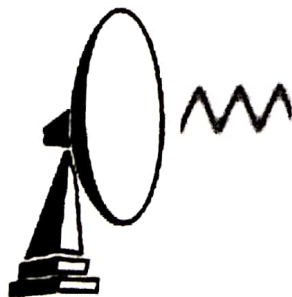
3 PRINSIP KERJA RADAR

Konsep radar adalah mengukur jarak dari sensor ke target. Ukuran jarak tersebut didapat dengan cara mengukur waktu yang dibutuhkan gelombang elektromagnetik selama penjarannya mulai dari sensor ke target dan kembali lagi ke sensor.

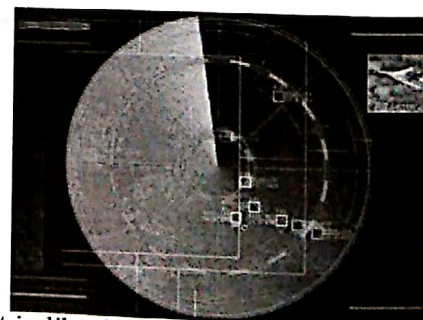
Radar bekerja melalui beberapa tahapan, yaitu dimulai dari sistem radar

mengirimkan/memancarkan sinyal gelombang radio ke segala arah atau secara *omnidirectional* ke udara. Kemudian sinyal radar yang mengenai target direfleksikan ke segala arah dan ada sebagian sinyal (*echo*) yang kembali ke arah radar. Hamburan balik berupa sinyal *echo* ditangkap dan dideteksi oleh radar melalui antena penerima yang "biasanya" berlokasi sama dengan alat pemancar. Walaupun gelombang radio yang dikembalikan biasanya sangat lemah, namun *echo* tersebut pada alat penerima radar dapat diperkuat oleh *IF amplifier*. Hal ini memungkinkan radar dapat mendeteksi obyek sasaran bergerak pada jangkauan radius hingga ratusan kilometer, kemudian keberadaan sasaran bergerak dapat diindikasikan berupa *cursor* diiringi bunyi *beep* di layar monitor atau *Plane Position Indicator (PPI)* (PPET-LIPI, 2014).

Secara singkat proses pengiriman/pemancaran sinyal radar dapat dilihat pada Blok Diagram (Gambar 3-2). Pada gambar tersebut diperlihatkan, bahwa MTI radar bekerja menggunakan *Pulse Modulator* yang berfungsi memodulasi sinyal frekuensi menjadi pulsa radar sebelum dipancarkan atau diradiasikan melalui antena. Pada proses awalnya, sistem radar ini membutuhkan sinyal referensi (f_c) yang dihasilkan oleh *Coho* yang merupakan singkatan dari *Coherent oscillator*. Terdapat 2 keluaran dari alat ini yang diperlukan oleh 2 alat pencampur (*mixer*). Keluaran 1,



(a) Antena radar mendeteksi obyek bergerak



(b) Alat indikasi sasaran bergerak, *Plane Position Indicator (PPI)*

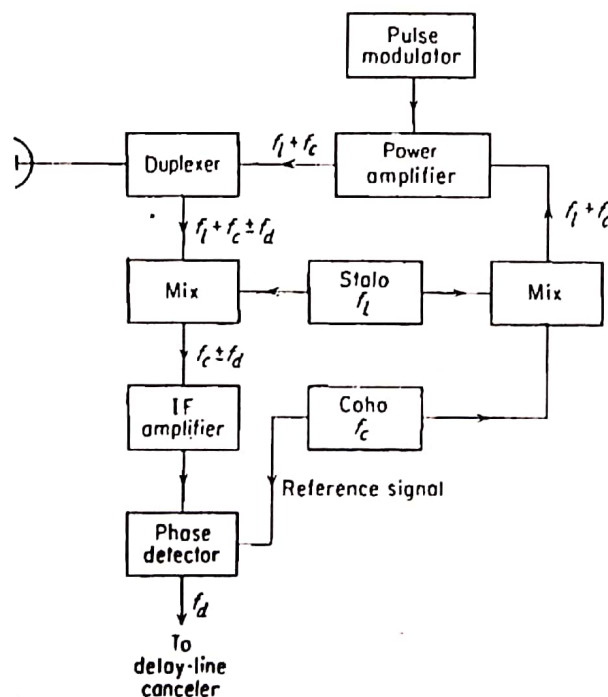
Gambar 3-1: Prinsip kerja alat deteksi radar (Wikipedia, 2014)

frekuensi *outputnya* (f_c) dicampur dengan sinyal frekuensi (f_i) yang berasal dari *Stable Local Oscillator (Stalo)*. Sistem radar ini menggunakan *Stalo* (f_i) untuk menghasilkan sinyal frekuensi yang diperlukan *IF Amplifier*. Keluaran 2, yaitu frekuensi *output* dari *Coho* secara bersama dengan sinyal keluaran dari *IF Amplifier* disalurkan ke alat *Phase Detector* untuk dilakukan proses deteksi fasa yang berasal dari sinyal *echo*. Selanjutnya pada proses pencampuran sinyal antara (f_c) dan (f_i), sinyal berubah menjadi ($f_i + f_c$) dan kemudian dimodulasi *Pulse Modulator* dan diperkuat oleh sebuah *Power Amplifier* sebelum sinyal gelombang radio disalurkan ke *Duplexer* setelah itu dipancarkan ke udara.

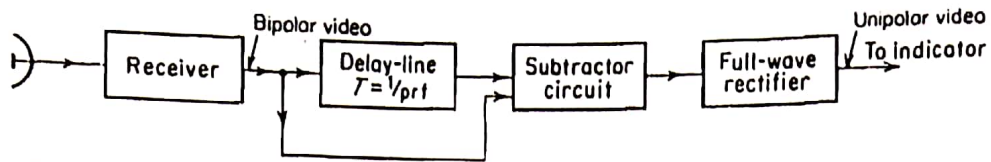
Selanjutnya proses penerimaan sinyal radar dapat dijelaskan secara singkat di dalam konfigurasi MTI (Gambar 3-2). Proses awalnya adalah bahwa sinyal *echo* yang dipantulkan oleh obyek sasaran bergerak ditangkap antenna penerima. Sinyal *echo* berupa *Radio Frequency (RF)* disalurkan ke *Duplexer* yang sekaligus berfungsi sebagai *Circulator* atau alat pemutus hubungan pada saat dilakukan proses

pengiriman (*transmitting*) sinyal radar, sehingga tidak terjadi kerusakan pada bagian alat penerima saat proses pemancaran. Sinyal frekuensi tinggi RF ($f_i + f_c \pm f_d$) yang berasal dari keluaran *Duplexer* disalurkan bersama dengan sinyal *Stalo* (f_i) ke pencampur (*heterodyne*) untuk menghasilkan frekuensi menengah IF ($f_c \pm f_d$). Frekuensi menengah IF ($f_c \pm f_d$) kemudian disalurkan ke penguat IF *Amplifier*, dan *outputnya* secara bersama dengan sinyal referensi *Coho* disalurkan ke alat *Phase Detector* untuk dilakukan proses deteksi fasa.

Saat ini terdapat 2 sistem radar yang banyak digunakan, yaitu MTI radar dan radar *Doppler* Pulsa. Pada dasarnya menggunakan prinsip yang sama, yaitu: frekuensi *Doppler shift*, tetapi ada beberapa yang berbeda (Singh et al, 2013). MTI radar menggunakan frekuensi pengulangan pulsa rendah, sementara radar *Doppler* Pulsa menggunakan media dan frekuensi pengulangan pulsa tinggi. MTI radar menggunakan *delay line analog canceller* sementara pada *Doppler* Pulsa menggunakan *filter sinyal analog*.



Gambar 3-2: MTI Blok Diagram (Merrill I and Skolnik, 1981)

Gambar 3-3: Blok diagram *delay line analog canceller* (Merrill I and Skolnik, 1981)

Dalam sistem MTI radar, saat *target* bergerak menuju radar (*target* bergerak mendekat) sinyal frekuensi yang diterima mulai dari posisi minimum terus meningkat. Ketika target berada tegak lurus dengan radar (*Zero IsoDoppler*) sinyal frekuensi yang diterima pada posisi ini adalah sinyal puncak (*maximum*). Sedangkan jika target bergerak menjauh dari radar, sinyal frekuensi yang diterima terus berkurang hingga kembali ke posisi minimum. Selisih frekuensi yang dipancarkan dan diterima dari frekuensi target disebut sebagai frekuensi *Doppler* dan dilambangkan oleh FD (Kang, E.W, 2008).

Pergeseran *Doppler* adalah perubahan frekuensi (atau panjang gelombang) karena gerakan relatif dari dua benda. Sistem radar memanfaatkan pergeseran *Doppler* untuk memberikan indikasi kecepatan relatif. Ketika dua benda yang masing-masing berdekatan (saling menutupi lainnya), pergeseran *Doppler* menyebabkan pemendekan panjang gelombang atau kenaikan frekuensi. Ketika dua benda menjauh dari satu sama lain, pergeseran *Doppler* menyebabkan perpanjangan panjang gelombang atau penurunan frekuensi (Singh et al, 2013).

Sistem *pulse Doppler* mengukur rentang obyek dengan mengukur waktu yang telah berlalu antara pengiriman pulsa energi radio dan menerima refleksi dari obyek. Gelombang radio bergerak dengan kecepatan cahaya, penghitungan jarak radar ke obyek: waktu yang telah berlalu dikalikan dengan kecepatan cahaya, kemudian dibagi dua yaitu waktu pergi dan kembali (Dunn III et al, 2004). Persamaan radar *Doppler* pulsa, secara teoritis dapat diketahui sebagai berikut:

$$R = \left(\frac{P_t G_t A_r \sigma F D^2}{16 \pi^2 K_b T B N} \right)^{1/4} \quad (3-1)$$

Dimana:

- R = Jarak dari *target*,
- P_t = daya *Transmitter*,
- G_t = *Gain* antena pemancar,
- Sebuah A_r = *aperture* efektif (area) dari antena penerima,
- σ = *Radar cross section*, atau hamburan koefisien dari *target*,
- F = Antena faktor pola propagasi,
- D size = *Doppler filter* (mengirimkan pulsa di setiap *Fast Fourier Transform*),
- K_b = konstanta Boltzmann,
- T = Suhu (Kelvin),
- B = *Receiver Bandwidth* (*band pass filter*),
- N = Kebisingan.

Persamaan ini diperoleh dengan menggabungkan persamaan radar dan persamaan kebisingan. Nilai D ditambahkan ke persamaan jangkauan radar untuk memperhitungkan kedua pemrosesan sinyal *Pulse Doppler* dan *noise reduction* pemancar.



Gambar 3-4: Pengukuran kecepatan (Wikipedia, 2014)

MTI radar mendeteksi adanya perubahan panjang gelombang yang disebabkan oleh gerakan sumber *Radar Pulse Doppler* didasarkan pada efek *Doppler*, pada Gambar 3-4 obyek sasaran bergerak diberi tanda warna merah. Adanya pergerakan obyek sasaran bergerak (berwarna abu-abu) akan menghasilkan pergeseran (*vector diagram*) frekuensi pada sinyal yang

dipantulkan dari target, hal ini dapat dilihat dan ditandai dengan pemendekan panjang gelombang berwarna biru (Bagad, V. S, 2008).

$$\text{Doppler Frequency} = \left(\frac{2 \times \text{Transmit Frequency} \times \text{Range Velocity}}{C} \right) \quad (3-2)$$

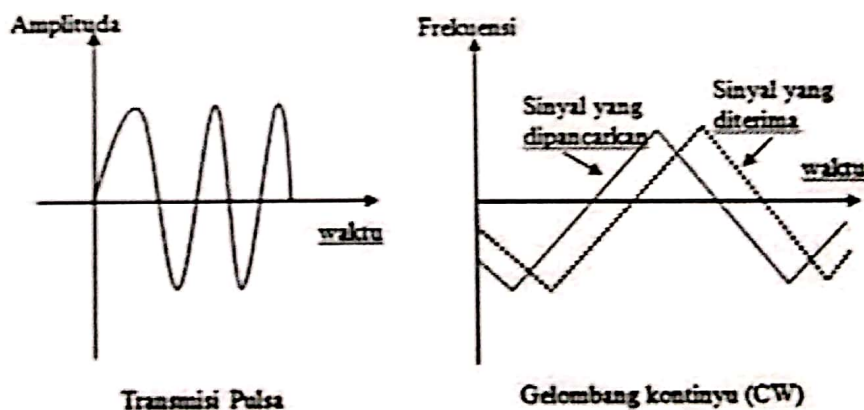
Keunggulan dari sistem radar antara lain dapat mendeteksi *target* yang berada ditempat yang sangat jauh, dapat mengukur jangkauan dengan cepat dan teliti, dapat bekerja ditempat gelap dan di segala cuaca dengan uap/asap maupun kabut, kecepatan relatif dari *target* dapat diukur. Kelemahannya dari sistem radar adalah aspek resolusi yang terbatas, gambar mentah (*raw video*) yang mewakili sinyal yang kembali tidak mengindikasikan sudut *target* (*target angle*), sulit untuk membedakan obyek-obyek yang berdekatan, kadang-kadang sinyal yang kembali palsu (*ambiguous*).

4 JENIS RADAR

Saat ini ada tiga macam tipe dasar radar yang banyak digunakan, yaitu Radar Gelombang Kontinyu atau

Continuous Wave (CW), Radar Pulsa dan MTI Radar (Singh et al, 2013). Varian baru yang merupakan kombinasi ketiga macam radar ini (teknik modulasi dan Doppler) telah banyak menghasilkan produk radar dengan jenis-jenis yang baru. Prinsip utama radar pulsa adalah mengirimkan pulsa pendek dengan daya yang tinggi dan bagian penerima berfungsi menangkap sinyal yang direfleksikan (dipantulkan). Sinyal pantulan (*echo*) diterima dengan penghitungan waktu dan memungkinkan untuk mengetahui lokasi obyek dan menentukan jarak jangkau. Sedangkan untuk radar CW selalu memancarkan sinyal, dimana perbedaan frekuensi antara sinyal yang datang dan yang dipancarkan dapat digunakan untuk mendeteksi kecepatan relatif obyek (prinsip pergeseran Doppler) yang diamati.

Pada (Gambar 4-1), dapat dilihat dua macam tipe: Radar Pulsa dan Radar CW dan masing-masing mempunyai keunggulan serta kelemahan yang dinyatakan pada (Tabel 4-1) dibawah:



Gambar 4-1: Gelombang Radar Pulsa dan Radar CW (PPET-LIPI, 2014).

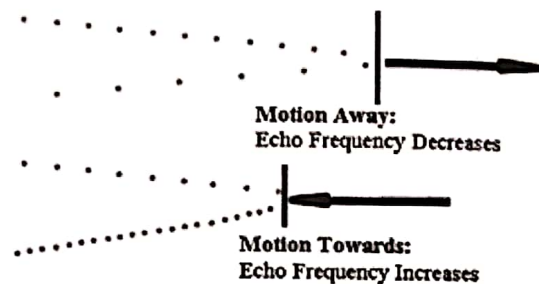
Tabel 4-1: PERBANDINGAN RADAR PULSA DAN RADAR CW

No.	Radar Pulsa	Radar CW
1.	Menggunakan antena tunggal	Memerlukan dua antena
2.	Memberikan info jangkauan dan sudut	Hanya memberikan info sudut
3.	Mudah di 'jammed'(diganggu)	Susah di 'jammed' tetapi mudah ditipu
4.	Jangkauan fisis ditentukan oleh daya dan frekuensi pengulangan pulsa (PRF)	Kebal terhadap gangguan 'noise' (nilai <i>Signal to Noise Ratio</i> tinggi)
5.		Pemrosesan bisa diatur untuk mencari frekuensi yang di inginkan.

Delay dari setiap pulsa relatif terhadap pulsa yang ditransmisikan, akan menunjukkan jarak terhadap target. Radar mengindikasikan arah dari obyek dengan arah antena pada waktu menerima pantulan pulsa. Total energi yang dikembalikan ke radar oleh pulsa-pulsa tersebut dapat digunakan sebagai indeks kemampuan mendeteksi dan melakukan pengukuran pada sistem radar. Batas unjuk kerja kemampuan radar mendeteksi target adalah perbandingan antara total energi dengan kepadatan spektrum (*spectral density*) *noise* pada alat penerima (Dunn III et al, 2004). Kemampuan radar dalam mendeteksi target bergantung kepada daya rata-rata (*average power*) dari pemancar. Waktu yang diperlukan selama daya tersebut membawa informasi dari target, tidak dipengaruhi oleh bentuk modulasi sinyal yang digunakan dalam transmisi. Dalam sistem radar pulsa, energi yang diterima dapat direpresentasikan sebagai hasil dari daya pulsa yang diterima, lebar pulsa dan jumlah pulsa yang terkandung dalam deretan pulsa.

Persamaan radar atau "*radar equation*" menggambarkan proses secara matematik, yang dapat digunakan untuk menghitung jarak maksimum sebagai fungsi dari lebar pulsa atau *pulse width* (*PW*) dan *pulse repetition rate* (*PRR*). Dalam banyak hal, pulsa yang sempit dengan *PRR* tinggi digunakan untuk jarak dekat, sistem dengan resolusi tinggi, sedangkan lebar pulsa yang lebih besar dan *PRR* rendah, digunakan untuk mengamati obyek dengan jangkauan jauh (Singh et al, 2013). Problem utama dari radar adalah mendeteksi target diantara *random noise* yang dihasilkan alat penerima atau radiasi yang berasal dari benda gelap (*black body*) yang ada disekitarnya. Noise tersebut dikenal sebagai "*thermal noise*", baik yang dihasilkan dari dalam maupun dari luar radar. Pada radar, *output* pemancarnya tidak diinterupsi, kebalikan dari radar pulsa dimana *output*-nya terdiri dari pulsa-pulsa yang sempit (Dunn III et al, 2004).

Keunggulan dari CW Radar adalah memiliki kemampuan mengukur kecepatan dengan ketelitian tinggi berdasarkan prinsip *Doppler shift* pada frekuensi sinyal yang dikembalikan oleh target. Obyek yang dideteksi adalah pergeseran frekuensi gelombang yang dipantulkan dengan nilai yang merupakan fungsi dari kecepatan relatif antara target dan pemancar-penerima. Data jangkauan diambil dari perubahan frekuensi *Doppler* terhadap waktu. Pada (Gambar 4-2) diperlihatkan prinsip *Doppler Shift*.



Gambar 4-2: Prinsip *Doppler Shift* (PPET-LIPI, 2014)

5 PENGGUNAAN RADAR DI LAPAN

5.1 *Equatorial Atmosphere Radar* (EAR)

Kemampuan radar selain dari yang sudah disampaikan sebelumnya, radar juga dapat digunakan untuk mengamati iklim dan cuaca. Sistem radar ini diantaranya adalah *Equatorial Atmosphere Radar* (EAR), *X-Band Radar*, *Micro-Rain Radar*, *Meteor Wind Radar* dan *Very High Frequency* (VHF) radar yang telah terpasang di Loka Pengamatan Atmosfer (LPA) LAPAN-Kototabang. LPA Kototabang adalah salah satu dari fasilitas sistem peralatan radar yang berfungsi sebagai pengamat atmosfer yang berlokasi dekat dengan katulistiwa (*equator*).

Letak geografisnya unik, yakni diapit oleh dua benua besar (Asia dan Australia) dan dua Samudera besar (Pasifik dan Hindia) yang dikenal sebagai kawasan benua maritim. Kawasan ini juga dianggap sebagai mesin pembangkit terjadinya perubahan iklim global, seperti peristiwa EL-Nino

dan La-Nina. Pergeseran arus laut antara samudera Pasifik dan Hindia dikenal sebagai Arus Lintas Indonesia (Arlindo) dan pergeseran musim hujan dari kondisi normal. Mengingat demikian besarnya peranan kawasan di atas ekuator Indonesia terhadap perubahan iklim global, tidaklah mengherankan jika kawasan ini menjadi pusat perhatian dari para peneliti atmosfer.

Pertimbangan teknis dibangunnya LPA di Kototabang dikarenakan kurangnya data meteorologi untuk daerah Indonesia bagian Barat. Daerah ini merupakan daerah penyimpan bahang (panas) terbesar pembentukan awan raksasa, seperti awan *Cumulonimbus (Cb)*. Fungsi utama dari peralatan radar ini adalah untuk meneliti perilaku angin *meridional*, *zonal* serta *vertical/horizontal* atau turbulensi. Pengamatan perilaku angin terjadi di lapisan troposfer dan lapisan bawah stratosfer dengan resolusi tinggi dalam selang waktu pengamatan yang relatif pendek rata-rata 15 menit untuk setiap ketinggian 150 meter pada lapisan 1,5 hingga 10 km. EAR dirancang khusus untuk mengamati fenomena atmosfer yang selang pengamatannya relatif sangat pendek.

Untuk fenomena atmosfer yang periode osilasinya relatif panjang, seperti teori *Quasi Biennial Oscillation (QBO)* diperlukan waktu pengamatan yang relatif lama (lebih dari 2 tahun). QBO

merupakan osilasi atmosfer yang terjadi pada lapisan stratosfer. Osilasi ini ditandai oleh adanya pergerakan angin atau massa udara ke arah timur dalam satu tahun dan ke arah barat pada tahun berikutnya. Berdasarkan teori dalam bidang meteorologi, secara umum *Oscillation* dapat diartikan sebagai variasi berulang (*repetitive variation*) medan dalam suatu medium. QBO dikenal juga sebagai osilasi stratosfer semi dua tahunan. Radar ini merupakan radar atmosfer khatulistiwa terbesar dan termoderen di dunia dan merupakan radar keempat terbesar untuk kawasan dunia setelah Peru, India dan Jepang.

Data yang diperlukan untuk dilakukan pengolahan adalah dari besaran *Doppler shift*. Sedangkan dari data *echo power* dapat diturunkan besaran stabilitas atmosfer untuk mengetahui laju perubahan suhu potensial terhadap ketinggian (E Hermawan, dan M Husni, 2002). Konversi juga sangat mungkin dapat diturunkan dari data *Doppler shift* dan *echo power*. Hal yang amat penting adalah EAR perlu dilengkapi dengan data radar ekuator lainnya. Peran aktif seluruh komponen data radar ekuator, baik yang berada di Indonesia, maupun di luar Indonesia mutlak diperlukan. Perlu diingat bahwa EAR adalah satu dari mata rantai sistem pemantauan iklim global di wilayah ekuator. Peralatan EAR dapat dilihat seperti pada Gambar 5-1.



(a) Terletak pada Areal Antenna dengan diameter 110m, 560 batang Antenna

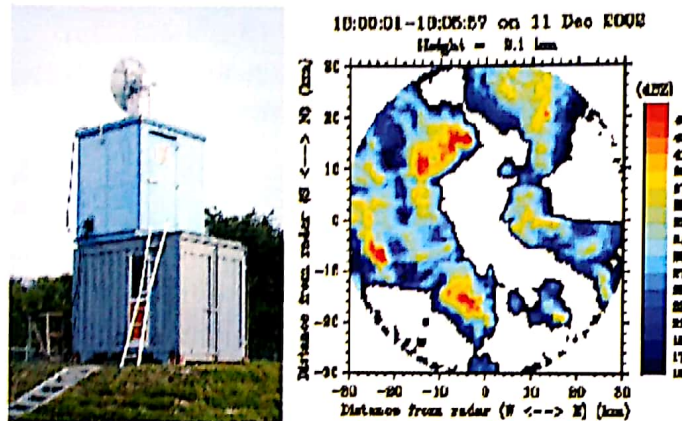


(b) Sistem peralatan komputer dan hasil pemantauan

Gambar 5-1: Peralatan antenna EAR

Tabel 5-2: SPESIFIKASI EAR

Lokasi	: 100,32°BT ; 0,20°LS
Frekuensi	: 47 MHz
Daya keluaran	: 100 kW (<i>peak envelope</i>)
Sistem antenna	: 560 antenna Yagi tiga elemen berbaris pada area hampir lingkaran berdiameter 110 m
Lebar beam	: 3,4° (-3dB, one-way)
Arah beam	: Ke segala arah dalam rentang 30 derajat dari sudut zenith
Jarak Jangkauan	: 1,5 hingga 20 km untuk turbulensi atmosfer dan lebih dari 90 km untuk irregularitas ionosfer.



Gambar 5-2: Peralatan X-Band Radar

5.2 X-Band Radar

X-Band Radar berfungsi untuk mendapatkan data awan, baik berupa sebaran, maupun posisi dan arah penjarannya. Sistem peralatan radar ini bekerja pada frekwensi 9,74 Ghz, *Peak power* 40 kW. *X-Band Radar* dilengkapi dengan *antenna* berdiameter 1,2 m, berat 250 kg, rotasi *antenna* 2 rpm dan daerah pengamatan dari 0,25 – 50,0 km. Peralatan *X-Band Radar* dapat dilihat seperti pada (Gambar 5-2).

5.3 Micro-Rain Radar

Radar ini bekerja pada frekuensi 24,1 GHz, *power transmitter* 50 mW, *receiver-transmitter offset parabolic* dengan diameter 0,6 m. Fungsinya untuk mendapatkan data kandungan uap air yang ada di atmosfer (troposfer bawah), pengamatan otomatis dan data yang didapat *real time* serta kontinyu. Peralatan *Micro-Rain Radar*, dapat dilihat seperti pada (Gambar 5-3).



Gambar 5-3: Peralatan Micro-Rain Radar

5.4 Meteor Wind Radar Jaringan Sistem Radar yang terintegrasi atau Airborne Early Warning (AEW)

Sistem peralatan *Meteor Wind Radar* berfungsi untuk mengukur medan angin di *mesosfer*. Sistem peralatan radar ini berguna untuk memonitor meteor yang jatuh di atmosfer, dan untuk melihat keadaan angin dari meteor-meteor yang jatuh. Peralatan *Micro-Wind Radar*, dapat dilihat seperti pada Gambar 5-4.



antenna



Indoor units

Mengukur medan angin di mesosfer



Gambar 5-4: Sistem Peralatan Meteor Wind Radar



Antenna array



Transmitter/receiver/
signal processing unit



Power supply

- Pengamatan irregularitas(ketidak beraturan) lapisan ionosfer
- Beroperasi sejak December 2005.

Gambar 5-5: Sistem Peralatan Very High Frequency (VHF) Radar

5.5 Very High Frequency (VHF) Radar

Sistem peralatan VHF berfungsi untuk mengamati ketidakberaturan (*irregularitas*) lapisan *ionosfer*. Peralatan VHF Radar, dapat dilihat seperti pada (Gambar 5-5).

6 PENUTUP

Pada pembahasan dijelaskan, bahwa sistem radar MTI dapat melakukan deteksi obyek bergerak dengan cara melakukan observasi *target* yang bergerak menuju radar (obyek bergerak mendekat). Sinyal frekuensi yang diterima mulai dari posisi minimum terus meningkat. Pada saat *target* berada tegak lurus dengan radar (*Zero IsoDoppler*) sinyal frekuensi yang

diterima pada posisi ini adalah sinyal puncak (*maximum*). Setelah itu perlahan *target* bergerak menjauh dari radar, sinyal frekuensi yang diterima terus berkurang hingga kembali ke posisi minimum. Melalui tahapan proses ini diperoleh "selisih frekuensi" antara sinyal yang dipancarkan dan diterima, disebut sebagai Frekuensi *Doppler* (FD). Perubahan frekuensi (atau panjang gelombang) terjadi karena adanya gerakan relatif antara dua benda. Sistem radar MTI memanfaatkan pergeseran untuk memberikan indikasi kecepatan. Ketika dua benda saling mendekat, pergeseran menyebabkan pemendekan panjang gelombang atau kenaikan frekuensi. Sebaliknya apabila dua benda menjauh dari satu sama lain,

pergeseran menyebabkan perpanjangan panjang gelombang atau penurunan frekuensi.

Saat ini teknologi radar telah mengalami perkembangan yang sangat pesat. Pada kegiatan operasional bandara, radar dapat mendukung navigasi penerbangan, pemantauan dan penelitian cuaca atau iklim global (bidang meteorologi). Operasional penggunaan radar pada bandara tahapannya adalah: menginventarisasi seluruh jumlah pesawat udara dalam radius jangkauan antena, identifikasi keberadaan sasaran bergerak yang di indikasikan berupa *cursor* diiringi bunyi *beep* di layar monitor atau *Plane Position Indicator* (PPI), selanjutnya informasi ini diproses untuk mengatur lalulintas penerbangan. Sedangkan operasional pada Stasiun Bumi Cuaca, penggunaan sistem radar cuaca adalah melakukan pengamatan dan pemantauan awan penyimpan bahang (panas), seperti awan *Cumulonimbus* (*Cb*). Radar cuaca mengamati perilaku angin *meridional*, *zonal* serta *vertical/horizontal* atau turbulensi. Pengamatan perilaku angin terjadi pada lapisan troposfer dan lapisan bawah stratosfer.

Secara singkat dapat disampaikan, bahwa sistem radar dibutuhkan untuk operasional bandara (sipil maupun militer), dan sekaligus mengamati/memantau jenis maupun perilaku cuaca atau iklim terutama pada jalur-jalur penerbangan yang sangat padat. Berdasarkan kemampuan serta keunggulannya, radar dapat digunakan untuk mendukung sistem keselamatan penerbangan.

Diharapkan LAPAN dapat berperan aktif dan berkontribusi dalam penyediaan data dan informasi menggunakan sistem radar cuaca, guna mendukung pembangunan dan peningkatan pemanfaatan teknologi kedirgantaraan.

DAFTAR RUJUKAN

- Singh, A., Shah V., Sarnaik, A, 2013. *Moving Target Indication Radar*, International Journal of Student Research in Technology & Management Vol 1, No.1.
- Hermawan, E., and Husni, M, 2002. *Perbandingan Antara Equatorial Atmosphere Radar Dengan Middle and Upper Atmosphere Radar Dalam Pemantauan Angin Zonal dan Angin Meridional*, Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca, Vol. 3, No. 1.
- Kang, E. W., 2008. *Radar System Analysis, Design and Simulation*, Artech House Inc.
- Merrill, I., and Skolnik, 1981. *Introduction to Radar Systems*, Second Edition, McGraw-Hill, Book Company.
- Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (PPET) – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), 2014. <http://www.radar-nasional.org/home/51-radar-sebagai-mata-pengawas-wilayah-nkri>, diunduh pada tanggal 24 Juni 2014 pukul: 09:16.
- Dunn III, R. J., Price, T. B., Charles, A. "Bert" Fowler, 2004. *Ground Moving Target Indicator Radar and the Transformation of U.S. Warfighting*, Analysis Center Papers, Northrop Grumman.
- Bagad, V. S, 2008. *Radar System*, First Edition, Technical Publications Pune.
- Wickens, Christopher D, 1998. *The Future of Air Traffic Control: Human Operators and Automation*, Washington DC: National Academy Press EY6016.
- Wikipedia, 2014. http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-Doppler_radar#History, diunduh pada tanggal 30 Juni 2014 pukul: 12:34.