

ALAT PENGUKUR JARAK (DISTANCE MEASUREMENT EQUIPMENT)

Yoseph Rasiman¹, Muchammad Muchaddats²,
Kurniawan³, Tia Dikatama Tsania.⁴

¹Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma;

^{2,3,4}National Air And Space Power Of Indonesia

¹rasiman@unsurya.ac.id; ^{2,3}Muchammadfurqon10@gmail.com;

⁴ikeo.santai@gmail.com.

Abstrak — Penelitian ini dilaksanakan bertujuan untuk mengetahui dan menghitung berapa kecepatan yang dibutuhkan dalam mencapai suatu stasiun. *Distance Measuring Equipment* (DME) adalah alat navigasi udara yang berfungsi memberikan panduan/informasi jarak (slant range) bagi pesawat udara dengan fasilitas DME yang dituju. (DME adalah jenis sistem navigasi en-route untuk pesawat udara; DME sering dipasang di dekat stasiun VOR sehingga memberikan gabungan bearing dan jarak; Ketika DME dipasang dengan VOR, itu disebut sebagai VOR/DME; DME memberikan jarak fisik dari pesawat ke transponder DME darat dinyatakan dalam Nautical Miles (NM); DME juga menghitung kecepatan darat dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai stasiun jika pesawat dilengkapi dengan komputer yang sesuai; Sistem DME terdiri dari tiga komponen dasar, yaitu: antena DME pada badan pesawat, unit tampilan navigasi DME di kokpit pesawat, pemancar/penerima DME di darat). Gambar di bawah menunjukkan perangkat DME

Kata Kunci: *Distance Measuring Equipment* (DME), kecepatan waktu, navigasi, transponder.

Abstrak — This research was conducted with the aim of knowing and calculating how much speed is needed to reach a station. *Distance Measuring Equipment* (DME) is an air navigation tool that functions to provide guidance/distance information (slant range) for aircraft with the intended DME facility. (DME is a type of en-route navigation system for aircraft; DME is often installed near a VOR station so that it provides a combination of bearing and distance; When DME is installed with a VOR, it is referred to as VOR/DME; DME provides the physical distance from the aircraft to the ground DME transponder expressed in Nautical Miles (NM); DME also calculates ground speed and the time required to reach the station if the aircraft is equipped with an appropriate computer; The DME system consists of three basic components, namely: the DME antenna on the aircraft fuselage, the DME navigation display unit in the aircraft cockpit, the DME transmitter/receiver on the ground). The image below shows the DME device

Keywords: *Distance Measuring Equipment* (DME), speed time, navigation, transponder.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan di era moderen banyak di negara-negara maju salah satunya di negara Australia sudah dikembangkan DME yang ditemukan oleh James Gerry Gerrand di bawah pengawasan Edward

George Taffy Bowen saat bekerja sebagai Kepala Divisi Radiofisika *Common wealth Scientific and Industrial Research Organisation* (CSIRO). Versi rekayasa lain dari sistem ini digunakan oleh Amalgamated Wireless Australasia Limited pada awal tahun 1950-an yang beroperasi pada

pita VHF 200 MHz. Versi domestik Australia ini disebut oleh Departemen Penerbangan Sipil Federal sebagai DME (D) atau DME Domestik), dan versi internasional yang diadopsi oleh ICAO kemudian disebut sebagai DME (I). DME pada prinsipnya mirip dengan fungsi pengukuran jarak radar sekunder, kecuali peran peralatan di pesawat dan di darat yang terbalik. DME merupakan pengembangan pasca-perang yang didasarkan pada sistem identifikasi kawan/lawan (IFF) pada Perang Dunia II. Untuk menjaga kompatibilitas, DME digunakan secara fungsional identik dengan komponen pengukuran jarak TACAN. Pada iterasi pertamanya, pesawat yang dilengkapi dengan DME menggunakan peralatan tersebut dapat digunakan untuk menentukan dan menampilkan jaraknya dari transponder dengan cara mengirimkan dan menerima pasangan pulsa. Stasiun darat biasanya ditempatkan bersama dengan VOR atau VORTAC. DME ber daya rendah dapat ditempatkan bersama dengan ILS atau MLS yang memberikan jarak akurat untuk mendarat, mirip dengan yang disediakan oleh suar penanda ILS dan dalam banyak kasus, memungkinkan pelepasan terakhir. Peran baru dari DME adalah navigasi DME/area DME (RNAV). Karena akurasi DME secara umum lebih unggul dibandingkan dengan VOR, navigasi yang menggunakan dua DME (menggunakan trilaterasi/jarak) memungkinkan operasi yang tidak dapat dilakukan oleh navigasi VOR/DME (menggunakan azimuth/jarak). Namun, hal ini memungkinkan pesawat memiliki kemampuan RNAV, dan beberapa operasi juga memerlukan unit referensi inersia. Transponder yang di darat, DME yang digunakan untuk navigasi *en-route* atau terminal sehingga menghasilkan keluaran (*output*) pulsa puncak 1 kW pada saluran UHF yang ditetapkan.

2. METODE PENELITIAN

Untuk mengetahui lebih mendalam tentang DME, peneliti menggunakan beberapa metode antara lain dengan sistem DME

yang umumnya sudah digunakan di seluruh dunia, yaitu dengan ketentuan standar yang ditetapkan oleh Organisasi Penerbangan Sipil Internasional (ICAO), RTCA, Badan Keselamatan Penerbangan Uni Eropa (EASA) dan badan-badan lainnya. Beberapa negara mengharuskan pesawat yang beroperasi di bawah aturan penerbangan instrumen (IFR) dilengkapi dengan interogator DME; di negara lain, interogator DME hanya diperlukan untuk melakukan operasi tertentu. Meskipun transponder DME yang berdiri sendiri diizinkan, namun biasanya dipasangkan dengan sistem panduan azimuth untuk menyediakan pesawat dengan kemampuan navigasi dua dimensi. Kombinasi umum adalah DME yang ditempatkan bersama dengan pemancar VHF (VOR) di satu stasiun darat (bandara). Ketika ini terjadi, frekuensi peralatan VOR dan DME dipasangkan. Konfigurasi seperti itu memungkinkan pesawat dapat menentukan azimuth dan jaraknya dari stasiun. Instalasi IVORTAC (VOR yang ditempatkan bersama dengan TACAN) menyediakan kemampuan yang sama untuk pesawat sipil tetapi juga menyediakan kemampuan navigasi 2-D untuk pesawat militer. Transponder DME berdaya rendah yang juga dapat dikaitkan dengan beberapa instalasi sistem pendaratan instrumen (ILS), pelokalan ILS, dan sistem pendaratan gelombang mikro (MLS). Dalam situasi tersebut, jarak frekuensi/pulsa transponder DME juga dipasangkan dengan frekuensi ILS, LOC, atau MLS. Suar transponder (*ground basic*) DME umumnya memiliki batas 2700 interogasi per detik (pasangan pulsa per detik-pps). Dengan demikian, hanya dengan sistem suar yang dapat memberikan informasi jarak hingga 100 pesawat pada satu waktu 95% transmisi untuk pesawat dalam mode pelacakan (*tracking*) (biasanya 25pps) dan 5% dalam mode pencarian (*search*) (biasanya 150pps). Di atas batas ini, transponder akan menghindari kelebihan beban (*over-loaded*) dengan membatasi sensitivitas/penguatan penerima. Balasan/respon terhadap interogasi yang lebih lemah, biasanya yang lebih jauh sehingga

sering terabaikan (*neglected*) untuk menurunkan beban transponder.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1. Data frekuensi dan Modulasi

Frekuensi DME dipasangkan dengan frekuensi VOR dan interogator DME dirancang untuk secara otomatis menyetel (*tuning*) ke frekuensi DME yang sesuai saat frekuensi VOR terkait dipilih. Interogator DME pesawat terbang menggunakan frekuensi dari 1025 hingga 1150 MHz. Transponder DME mentransmisikan (memancar) pada saluran dalam rentang 962 hingga 1213 MHz dan menerima pada saluran yang sesuai antara 1025 dan 1150 MHz. Pita dibagi menjadi 126 saluran untuk interogasi dan 126 saluran untuk balasan. Frekuensi interogasi dan balasan selalu berbeda sebesar 63 MHz. Jarak dan lebar pita setiap saluran adalah 1 MHz dan lebar pita 1 MHz. Referensi teknis untuk saluran X dan Y hanya berkaitan dengan jarak antar pulsa individual pada pasangan pulsa DME, jarak 12 mikrodetik untuk saluran X dan jarak 30 mikrodetik untuk saluran Y. Fasilitas DME mengidentifikasi dirinya dengan kode Morse tiga huruf pada frekuensi 1.350 Hz. Jika ditempatkan bersama dengan VOR atau ILS, maka akan memiliki kode identitas yang sama dengan fasilitas induk. Selain itu, DME akan mengidentifikasi dirinya di antara fasilitas induk. Identitas DME adalah 1.350 Hz untuk membedakan dirinya dari nada 1.020 Hz dari VOR atau pelokalan ILS.

3.2. Penggunaan Frekuensi/Saluranisasi

Penggunaan frekuensi DME, penyaluran dan pemasangan dengan alat bantu navigasi lainnya (VOR, ILS, dll.) ditetapkan oleh ICAO. Sebanyak 252 saluran DME ditetapkan oleh kombinasi frekuensi interogasi, jarak pulsa interogasi, frekuensi balasan, dan jarak pulsa balasan. Saluran-saluran ini diberi label misalkan 1X, 1Y, 2X, 2Y, ... 126X, 126Y. Saluran X yang muncul lebih dulu, memiliki pasangan pulsa interogasi dan balasan/respon yang berjarak sebesar 12 mikrodetik. Saluran Y yang ditambahkan untuk meningkatkan

kapasitas akan memiliki pasangan pulsa interogasi yang berjarak sebesar 36 mikrodetik dan pasangan pulsa balasan yang berjarak sebesar 30 mikrodetik. Sebanyak 252 frekuensi yang telah ditetapkan tetapi tidak semuanya dapat digunakan untuk interogasi dan balasan DME khususnya, 962, 963, 1213 megahertz. Frekuensi interogasi adalah 1025, 1026, 1150 megahertz (total 126), dan sama untuk saluran X dan Y. Untuk saluran tertentu dalam frekuensi balasan adalah 63 megahertz di bawah atau di atas frekuensi interogasi. Frekuensi balasan berbeda untuk saluran X dan Y, dan berbeda untuk saluran bernomor 1-63 dan 64-126. Tidak semua saluran/frekuensi ditetapkan. Ada lubang (*hole*) penetapan yang berpusat/center pada 1030 dan 1090 megahertz untuk memberikan perlindungan/proteksi bagi sistem radar sekunder (SSR). Di banyak negara, ada juga lubang penetapan yang berpusat pada 1176,45 megahertz untuk melindungi frekuensi GPS L5. Ketiga 'lubang' ini menghilangkan sekitar 60 megahertz dari frekuensi yang tersedia untuk digunakan. DME Presisi (DME/P), komponen dari Sistem Pendaratan an Gelombang Mikro, ditetapkan ke saluran Z, yang memiliki set ketiga jarak pulsa interogasi dan balasan. Saluran Z dimulti pleks dengan saluran Y dan tidak mempengaruhi rencana saluran secara material.

3.3. Jenis transponder DME

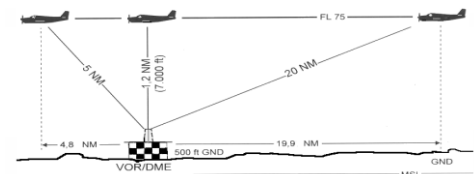
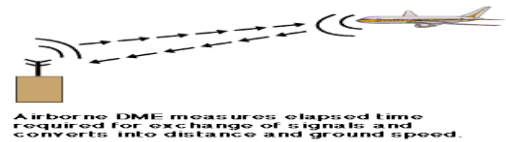
FAA AS telah memasang tiga jenis transponder DME tidak termasuk yang terkait dengan sistem pendaratan transponder terminal yang sering dipasang di bandara, biasanya menyediakan layanan pada ketinggian minimal 12.000 kaki (3.700 m) dan jangkauan 25NM (46km). Transponder ketinggian yang rendah biasanya menyediakan layanan pada ketinggian minimal 18.000 kaki (5.500 m) dan jangkauan 40NM (74 km); dan transponder ketinggian yang tinggi, biasanya menyediakan layanan pada ketinggian minimal 45.000 kaki (14.000 m) dan jangkauan 130NM (240km). Namun transponder-transponder itu banyak yang

memiliki batasan operasional sehingga sebagian besar dapat didasarkan pada penyumbatan garis pandang dan kinerja aktual mungkin berbeda. Manual Informasi Aeronautika AS menyatakan, mungkin mengacu pada transponder DME ketinggian yang tinggi: sinyal yang handal dapat diterima pada jarak hingga 199 NM (369 km) pada ketinggian garis pandang. Beberapa transponder DME yang terkait dengan ILS atau pendekatan instrument (*instrument approach*) lainnya ditujukan untuk digunakan selama *approaching* ke landasan pacu tertentu, baik satu atau kedua ujungnya. Transponder ini tidak diizinkan untuk dijadikan sebagai navigasi umum; baik jangkauan maupun ketinggian minimum tidak ditentukan.

3.4. Prinsip Kerja

Dalam dunia penerbangan, DME merupakan suatu teknologi navigasi radio yang mengukur jarak miring (*slant range*) antara pesawat udara dan stasiun di darat dengan menghitung waktu tunda perambatan (*propagation delay time*) sinyal radio dalam pita frekuensi (*bandwidth*) antara 960 dan 1215 MHz. Garis pandang (*line of visibility*) antara pesawat udara dan stasiun di darat diperlukan. Interogator di pesawat mulai menanyakan ke transponder di darat dengan mengirimkan pasangan pulsa, pada saluran yang ditetapkan. Fungsi saluran adalah untuk menentukan frekuensi pembawa (*carrier*) dan jarak antara pulsa. Setelah waktu tunda (*delay time*) yang diketahui, transponder menjawab/merespon dengan mengirimkan pasangan pulsa pada frekuensi yang diimbangi dari frekuensi interogasi sebesar 63 MHz dengan separasi pulsa yang ditentukan. DME provides distance (*slant range*) from the aircraft to the ground DME; DME operates on Ultra High Frequency (UHF) which is between 962 to 1213MHz, DME works based on pulse techniques, where pulse means a single vibration of electric current, The aircraft's antenna sends out paired pulses at specific spacing, The ground DME station receives the pulses and then responds with paired pulses at the same spacing but a different frequency;

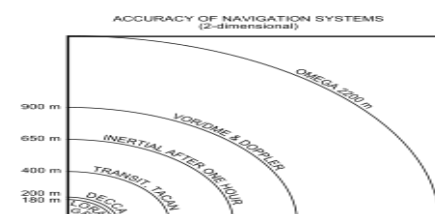
The aircraft receiver measures the time taken to transmit and receive the signal which is transmitted into distance, Beside that, the distance formula is also used by the DME receiver to calculate the distance from DME station in Nautical Miles).



3.5. Perhitungan jarak (Distance Measurement)

Sinyal radio memerlukan waktu sekitar 12,36 mikrodetik (μs) untuk menempuh jarak 1 NM (1.852m) ke target dan kembali. Selisih waktu antara interogasi dan respon dikurangi penundaan (*delay time*) transponder di darat selama 50 mikrodetik (μs), dan jarak pulsa balasan (12 μs dalam mode X dan 30 μs dalam mode Y), diukur oleh rangkaian *control* waktu interogator dan diubah menjadi jarak (*slant-range*), dalam NM, lalu ditampilkan pada layar DME di *cockpit*. Dengan menggunakan rumus jarak, yaitu jarak = kecepatan x waktu, digunakan oleh penerima DME untuk menghitung jaraknya dari stasiun di darat DME. Kecepatan dalam perhitungan adalah kecepatan pulsa radio yang merupakan kecepatan cahaya kira-kira sebesar 300.000.000 m/s atau 186.000 Knots. Waktu dalam perhitungan adalah $C \cdot \frac{1}{2}$ (total waktu – *respon delay*), di mana C adalah kecepatan cahaya.

3.6. Ketepatan (Keakuratan)



Keakuratan berbagai sistem navigasi penerbangan, di antaranya hanya GPS, TACAN, inersia, dan VOR/DME yang masih digunakan. Keakuratan stasiun di darat DME adalah 185 m ($\pm 0,1$ nmi). Penting untuk dipahami bahwa DME menyediakan jarak fisik antara antena pesawat dan antena transponder DME. Jarak ini sering disebut sebagai 'jangkauan miring' dan bergantung secara trigonometri pada ketinggian pesawat di atas transponder serta jarak darat di antara keduanya. Misalnya sebuah pesawat yang berada tepat di atas stasiun DME pada ketinggian 6.076ft (1NM) akan tetap menunjukkan jarak 1,0 NM (1,9 km) pada pembacaan DME. Secara teknis, pesawat tersebut berada 1 NM jauhnya, hanya 1 NM lurus ke atas. Kesalahan jangkauan miring paling jelas terlihat pada ketinggian tertentu saat dekat dengan stasiun DME. Alat bantu navigasi radio harus memiliki tingkat akurasi tertentu, yang ditetapkan oleh standar internasional antara lain: FAA, EASA, ICAO, dll. Untuk memastikan hal ini, organisasi inspeksi penerbangan secara berkala dapat memeriksa parameter kritis pada pesawat yang dilengkapi dengan peralatan yang tepat untuk mengkalibrasi dan mensertifikasi presisi DME. ICAO merekomendasikan akurasi kurang dari jumlah 0,25 NM ditambah 1,25% dari jarak yang diukur, sehingga aman untuk digunakan.

3.7. Keunggulan alat pengukur jarak,

- Berfungsi untuk mengukur jarak antara total station dan target. Prinsip kerjanya adalah dengan memancarkan gelombang elektro magnetik ke prisma yang diletakkan pada target, kemudian mengukur waktu yang dibutuhkan gelombang untuk kembali ke total station. Data waktu ini kemudian dikonversi menjadi jarak.
- Membantu pilot dan pengatur lalu lintas udara menentukan posisi pesawat terbang dengan bumi dan pesawat terbang lainnya.

4. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Dari hasil penelitian dan pembahasan diatas dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Meskipun kompatibel dengan peralatan yang ada, literasi DME dapat memberikan akurasi yang lebih tinggi hingga 5 meter dengan menggunakan triangulasi DME dan pengurangan lebih lanjut hingga 3 meter. Peralatan 3 meter tersebut sedang dipertimbangkan sebagai bagian dari proyek besar di Eropa.
- Navigasi udara semakin bergantung pada panduan satelit dan navigasi berbasis darat akan terus berlanjut, dengan beberapa alasan sebagai berikut:
 - Sinyal satelit sangat lemah sehingga dapat dipalsukan dan tidak selalu tersedia;
 - Aturan Uni Eropa yang mengharuskan negara-negara anggota untuk menjaga dan memelihara alat bantu navigasi darat;
 - Pertimbangan kedaulatan/kendali atas sarana navigasi suatu negara.
 - Beberapa negara yang ingin bernavigasi di wilayah mereka harus bergantung pada sarana yang mereka kendalikan dan tidak setiap negara memiliki konstelasi seperti GPS milik AS atau Galileo milik Eropa.
- Salah satu keuntungan dari peralatan navigasi adalah memiliki kemampuan untuk mengecek fungsinya melalui penerbangan *drone* yang secara signifikan dapat mengurangi biaya dan penundaan uji terbang sebelumnya.

5. REFERENSI

- [1] [^] Pemberlakuan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-7112-2005 Mengenai Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan Sebagai Standar wajib (PDF). Diarsipkan (PDF) dari versi asli tanggal 4 May 2005.

- [2] Konvensi Penerbangan Sipil Internasional, Volume I Alat Bantu Navigasi Radio Organisasi Penerbangan Sipil Internasional, Standar Internasional dan Praktik yang Direkomendasikan.
- [3] ^ Standar Kinerja Operasional Minimum untuk Peralatan Pengukur Jarak Udara (DME) yang Beroperasi dalam Jangkauan Frekuensi Radio 960-1215 Megahertz; RTCA; DO-189; 20 September 1985.
- [4] ^ Peralatan Pengukur Jarak (DME) yang Beroperasi Dalam Jangkauan Frekuensi Radio 960-1215 *Megahertz*; Badan Keselamatan Penerbangan Uni Eropa; ETSO-2C66b; 24 Oktober 2003.
- [5] ^ Lampiran B: Penunjukan huruf standar IEEE untuk Pita Radar. Buku Pegangan Alokasi Frekuensi dan Perlindungan Spektrum untuk Penggunaan Ilmiah (edisi ke-2). Akademi Sains, Teknik, dan Kedokteran Nasional 2015.doi.10.17226/21774.ISBN Nomor telp 978-0-309-37659-4.
- [6] ^ Insinyur menghancurkan mitos di banyak bidang 9 Januari 2013 melalui *The Sydney Morning Herald*.
- [7] ^ Operasi Terminal dan Area Navigasi *En Route* (RNAV) AS; Administrasi Penerbangan Federal; Surat Edaran AC 90-100A; 1 Maret 2007.
- [8] ^ DME/DME untuk Posisi Alternatif, Navigasi, dan Waktu (APNT), Robert W. Lilley dan Robert Erikson, *Federal Aviation Administration, White Paper*, tanpa tanggal.
- [9] ^ Departemen Pertahanan dan Departemen Transportasi AS (Des 2001), Sistem Radionavigasi Federal 2001 PDF) Diperoleh pada 5 Juli 2011.
- [10]^ Administrasi Penerbangan *Federal* AS (2 September 1982). Standar Penerbangan Nasional AS untuk Sistem VOR/DME/TACAN.
- [11]^ Manual Informasi Aeronautika Arsip 5 September 2008 di *Wayback Machine*; Administrasi Penerbangan Federal; 12 Oktober 2017.
- [12]^ Thales memperkenalkan DME di generasi lima (AW&ST, 11 Maret 2020).