

**NAVIGASI BERBASIS KINERJA (*PERFORMANCE-BASED NAVIGATION* – PBN)
PERWUJUDAN DARI OPERASI PENERBANGAN YANG EFEKTIF, EFISIEN
DAN COCOK UNTUK WILAYAH INDONESIA**

AMINARNO BUDI PRADANA

Dosen Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia Curug POB 509 Tangerang (15001)

Abstract : Indonesia's vast territory of more than 9-million square kilometers and consists of 65% water and about 35% of land in the form of around 17,000 islands large and small, makes air transport is one of the top choice in turning the wheels of economic, political, social and cultural . Due to its natural condition, then the flight path to build a safe and efficient and assist aircraft crew in navigation, has been installed hundreds of aviation navigation aids (NAVAID) of NDB, VOR, DME and ILS. To ensure the standards of aviation safety, NAVAID must always be in full working condition in accordance to the established criteria and should be calibrated periodically. In the past few years, the calibration bureau is no capable to carry out its responsibility for calibrating NAVAID because of a deficiency calibration fleet of aircraft and air crew members. It result that almost all the NAVAID in Indonesia is in a "dubious." It is in function but not guaranteed to be correct because it has not been calibrated yet. This raises doubts for flight personnel, if NAVAID has expired (not calibrated), whether it may legally be used to navigate? For those operators who place airline safety in first level, then the pilot will not continue its flights, because its NAVAID is unreliable. Obviously, this will disrupt smooth operation of flights. Then, International Civil Aviation Organization (ICAO) introduces procedures for Performance-Based Navigation (NBK). It is a method of navigating using satellite-based NAVAID, which is environmentally friendly. After that, the problems whether NAVAID has been already or not calibrated yet will not arise. Related to this method, Indonesian Aviation Authority is recommended to apply NBK soon, so that flight operations can be carry out in effective, efficient and environmentally friendly.

Abstrak : Indonesia yang luas wilayahnya lebih dari 9-juta kilometer persegi dan terdiri dari 65 % perairan dan sekitar 35 % daratan yang berupa sekitar 17.000 pulau besar maupun kecil, menyebabkan transportasi udara merupakan salah satu pilihan utama di dalam menggerakkan roda ekonomi, politik, sosial dan budaya. Karena kondisi alamnya, maka untuk membangun jalur penerbangan yang aman dan efisien serta membantu awak pesawat udara dalam bernavigasi, telah dipasang ratusan alat bantu navigasi penerbangan (NAVAID) berupa NDB, VOR, DME dan ILS. Guna menjamin standar keselamatan penerbangan maka NAVAID tersebut harus senantiasa berada dalam keadaan berfungsi penuh sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan dan harus dilakukan kaliberasi secara berkala. Pada kurun waktu beberapa tahun belakangan ini, kemampuan Balai Kaliberasi yang bertanggung jawab untuk mengkaliberasi NAVAID tidak sanggup melaksanakan fungsinya yang disebabkan oleh kekurangan armada pesawat udara kaliberasi dan awak pesawat udara sehingga mengakibatkan hampir seluruh NAVAID di Indonesia dalam kondisi "meragukan" dalam arti berfungsi tetapi tidak dijamin ketepatannya karena belum diadakan kaliberasi. Hal ini menimbulkan keragu-raguan bagi personil penerbangan, kalau NAVAID mengalami kadaluwarsa (belum dikaliberasi) apakah secara hukum masih boleh digunakan untuk bernavigasi ? Bagi operator penerbangan yang menomorkan satuan keselamatan, maka ketika NAVAID-nya tidak berfungsi, maka penerbang tidak akan melanjutkan penerbangannya sebab NAVAID-nya tidak bisa diandalkan. Jelas ini akan mengganggu kelancaran operasi penerbangan. Dengan diperkenalkannya prosedur Navigasi Berbasis Kinerja (NBK) oleh Organisasi Penerbangan Sipil Internasional (ICAO), yaitu metode bernavigasi menggunakan NAVAID berbasis satelit yang ramah lingkungan, maka permasalahan

NAVAID yang belum atau tidak dikaliberasi tidak akan timbul. Sehubungan dengan hal tersebut disarankan kepada Otoritas Penerbangan Indonesia untuk dalam waktu dekat mewujudkan implementasi NBK sehingga operasi penerbangan dapat berjalan secara efektif, efisien dan ramah lingkungan.

Kata Kunci : NAVAID kadaluarsa, navigasi berbasis kinerja, penerbangan yang efektif dan efisien, dan ramah lingkungan

I. PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Pada dekade terakhir ini isu mengenai lingkungan sangatlah gencar dicanangkan oleh berbagai kalangan baik oleh organisasi pemerintah, lembaga swadaya masyarakat dan kalangan industri. Pencemaran atau polusi di lingkungan darat, laut dan udara telah sedemikian luas sehingga mengancam kehidupan makhluk hidup di muka bumi termasuk manusia.

Di dalam menghadapi tuntutan tersebut Organisasi Penerbangan Sipil internasional (*International Civil Aviation Organization* – ICAO) dengan seluruh pemangku kepentingan (*stakeholder*) dalam penerbangan sipil telah mengambil langkah-langkah berarti antara lain (1) kalangan industri pesawat udara telah bertekad untuk memproduksi pesawat udara dengan tingkat kebisingan mesin dan emisi gas buang yang rendah serta menggunakan bahan-bahan yang ramah lingkungan dan bisa didaur ulang; (2) organisasi bandar udara internasional (*Airport Council International* - ACI) bertekad bagaimana merancang bangun bandar udara yang memiliki tingkat kebisingan sekecil mungkin sehingga tidak mengganggu penduduk di sekitar bandar udara, memasang alat pemantau kebisingan di sekitar bandar udara dan/atau membatasi jam operasi bandar udara yaitu tidak beroperasi antara pukul 22.00 – 06.00 di mana penduduk sekitar bandar udara sedang beristirahat.; (3) organisasi penyelenggara pelayanan navigasi penerbangan (*Civil Air Navigation Service Organization* – CANSO) memiliki tekad yang

sama bagaimana menata sistem dan prosedur navigasi penerbangan yang efisien dan ramah lingkungan.

Di dalam menangkap semua tekad dari pemangku kepentingan tersebut, ICAO telah mencanangkan prosedur bernavigasi yang dapat dilakukan secara efektif, efisien dan ramah lingkungan yaitu yang disebut dengan Navigasi Berbasis Kinerja – NBK (*Performance-Based Navigation* – PBN). Efektifitas dapat dalam arti prosedur tersebut dapat dilaksanakan oleh seluruh Negara Anggota baik yang kaya atau miskin maupun yang maju dan belum maju. Prosedur tersebut juga dapat dilaksanakan oleh seluruh pesawat udara setelah melalui pembenahan seperlunya, prosedur juga dapat diimplementasi oleh organisasi penyelenggara pelayanan navigasi udara. Efisiensi dapat dicapai melalui pembentukan jalur-jalur penerbangan yang langsung/lurus tanpa harus berbelok-belok melewati stasiun alat bantu navigasi udara seperti NDB dan/atau VOR, jarak pemisahan antar pesawat udara tidak harus linier akan tetapi bisa parallel dan jaraknya bisa dikurangi, penggunaan peralatan di pesawat udara yang sejenis secara global sehingga dapat menghindari penggunaan alat bantu di darat yang tersebar di berbagai negara anggota Berdasarkan visi dan misi ICAO, maka tujuan ICAO di dalam bidang Komunikasi, Navigasi dan Pengawasan/Manajemen Lalu Lintas Penerbangan (KNP/MLLP) antara lain adalah meningkatkan keselamatan penerbangan di dalam menghadapi pertumbuhan jumlah lalu lintas penerbangan, meningkatkan kapasitas

pemanduan lalu lintas penerbangan tanpa menimbulkan penundaan keberangkatan/kedatangan pesawat udara dan memberikan kesempatan kepada operator penerbangan untuk mengoperasikan armadanya secara lebih efisien.

Tantangan masa depan telah diidentifikasi oleh ICAO berupa :

a. Peningkatan jumlah lalu lintas penerbangan

Peningkatan jumlah lalu lintas penerbangan menuntut adanya peningkatan kapasitas ruang udara oleh karena itu diperlukan adanya pemanfaatan ruang udara secara optimal terhadap ruang udara yang ada. Di dalam penataan ruang udara tidak bisa dilakukan hanya semata-mata menata ruang udara, akan tetapi memperhatikan pula unsur-unsur lain yang di darat dan sistem yang digunakan dalam memanfaatkan ruang udara tersebut. Penataan ini yang disebut dengan konsep ruang udara (*airspace concept*).

b. Keterbatasan sistem pada saat ini

Sistem yang digunakan dalam memanfaatkan ruang udara terdiri dari tiga unsure yaitu komunikasi, navigasi dan pengawasan (*surveillance*). Ketiga unsur yang selama digunakan berbasis kepada peralatan di darat ditenagarai memiliki banyak kelemahan baik dari teknis, operasional (termasuk biaya).

c. Perkembangan teknologi baru di bidang penerbangan

Perkembangan teknologi baru biasanya memberikan dampak baik positif maupun negatif. Yang jelas dampak positif jauh lebih besar sebab memberikan sistem kerja yang lebih efektif dan efisien.

d. Konsistensi global

Kegiatan penerbangan sipil telah menembus batas ruang dan waktu dalam arti karena kecepatan sarana sedemikian tinggi sehingga dalam hitungan waktu menit, pesawat udara mampu menjelajahi lebih dari satu negara,

oleh karena itu diperlukan komitmen oleh seluruh anggota ICAO untuk secara konsisten mengembangkan system penerbangan sipil yang lebih efektif, efisien dan ramah lingkungan.

2. Tuntutan perubahan

Berdasarkan identifikasi tersebut, disadari bahwa ke dapat diperlukan adanya perubahan secara mendasar di segala bidang. Perubahan tersebut tidak bisa dilakukan secara serentak, melainkan secara bertahap yang meliputi antara lain :

a. Komunikasi : sedang dan sudah dimulai memanfaatkan sistem komunikasi satelit (*Aeronautical Mobile Satellite System – AMSS*). Dengan pemanfaatan satelit yang sangat menguntungkan dari banyak aspek maka ICAO memproyeksikan suatu saat menentukan sistem komunikasi berbasis kinerja tertentu yang harus digunakan (*Required Communication Performance – RCP*);

b. Navigasi : sama dengan sistem komunikasi, sistem navigasi yang memanfaatkan satelit (*Global Navigation Satellite System – GNSS*) ternyata juga memberikan manfaat yang sangat besar, oleh karenanya untuk navigasi ICAO juga telah menetapkan sistem navigasi yang berbasis kinerja (*Required Navigation Performance – RNP*);

c. Pengamatan (*surveillance*) : sama dengan sistem komunikasi dan navigasi, sistem pengamatan yang memanfaatkan satelit (*Automatic Dependent Surveillance – ADS*) ICAO juga memproyeksikan bahwa pada suatu saat menentukan sistem pengamatan berbasis kinerja tertentu yang harus digunakan (*Required Surveillance Performance – RSP*). Melalui penyempurnaan sistem KNP di atas maka diharapkan Manajemen Lalu Lintas Penerbangan (*Air Traffic Management*) dapat

diimplementasi secara mulus (*seamless*) dan terkoordinasikan secara global.

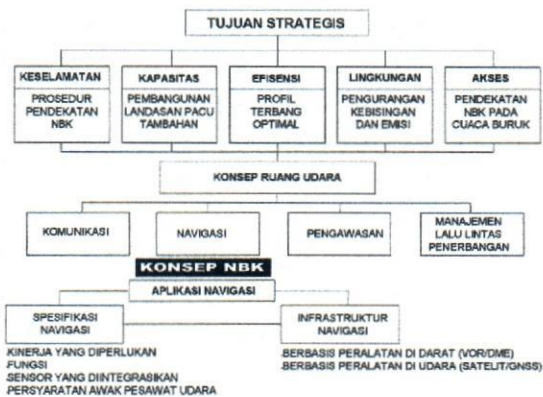
3. Tujuan strategis KNP/MLLP

Di dalam manajemen lalu lintas penerbangan, ICAO menetapkan tujuan strategis yang meliputi antara lain :

- a. Keselamatan : mengimplementasikan sistem navigasi berbasis kinerja (RNP) guna menurunkan tingkat kecelakaan pesawat udara di sekitar bandar udara (*controlled flight into terrain* – CFIT);
- b. Kapasitas : untuk meningkatkan kapasitas ruang udara, maka diperlukan peningkatan kapasitas bandar yaitu melalui pembangunan landasan pacu (*runway*) tambahan;
- c. Efisiensi : menata profile terbang sehingga mengurangi tahap penerbangan yang dapat menimbulkan pemborosan waktu dan bahan bakar;
- d. Lingkungan : mengharuskan produsen pesawat udara, otoritas bandar dan penyelenggara pelayanan navigasi penerbangan untuk menciptakan sarana dan prasarana yang ramah lingkungan; dan
- e. Akses ke bandara (khususnya pada saat kondisi cuaca buruk): dengan mengimplementasikan prosedur pendekatan yang menggunakan sistem navigasi yang berbasis kinerja (*RNP approach*).

Dari uraian di atas, maka konsep navigasi berbasis kinerja merupakan salah satu elemen di dalam konsep ruang udara yang pada intinya adalah peningkatan efektifitas, efisiensi dan keramahan lingkungan sistem penerbangan.

Hubungan antara konsep ruang udara, tujuan strategis dan implementasi NBK dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Hubungan antara konsep ruang udara, tujuan strategis dan implementasi NBK

II. LANDASAN TEORI

1. Navigasi penerbangan konvensional

Navigasi penerbangan adalah metode mengarahkan pesawat udara dari satu tempat ke tempat lain di permukaan bumi dengan selamat, lancar dan efisien. Untuk melaksanakan metode tersebut diperlukan alat bantu navigasi (*navigation aid* – NAVAID) yang ditempatkan di berbagai tempat di permukaan bumi yang bisa diakses oleh instrumen di pesawat udara sehingga memberikan informasi posisi kepada penerbang.

Alat bantu navigasi yang selama ini digunakan adalah *non-direction beacon* (NDB), *VHF-omni directional radio range* (VOR), *distance measuring equipment* (DME), *marker beacon* (MB) dan *instrument landing system* (ILS).

a. Non-directional Beacon (NDB)

Sistem NDB terdiri dari stasiun radio (NDB) yang bekerja pada frekuensi 200 – 530 kHz. Pola radiasi yang dipancarkan adalah ke segala arah (*nondirectional*) yang memungkinkan diterima oleh stasiun penerima di mana saja di dalam jangkauan pancaran gelombang radio. NDB digunakan untuk memandu pesawat terbang menuju titik tertentu (*homing*). Biasanya jangkauan NDB

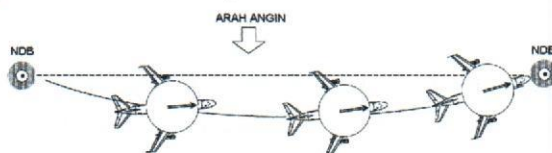
antara 180 – 360 km, namun NDB yang digunakan untuk melayani pesawat terbang jelajah menggunakan tenaga yang besar sehingga dapat menjangkau sampai 1800 km. Kebanyakan NDB yang digunakan untuk melayani pesawat terbang jelajah beroperasi 24 jam. Lokasi, frekuensi, sinyal tanda pengenalan (identitas) dan jam operasi NDB tercetak pada peta-peta penerbangan dan bisa juga ditemui pada dokumen informasi aeronautika.

Instrumen di pesawat terbang yang digunakan untuk mencari posisi NDB disebut indikator magnetik radio (*radio magnetic indicator* disingkat RMI). Apabila penerbang menyetel RMI pada frekuensi NDB, maka jarum penunjuk pada indikator akan menunjuk ke arah stasiun NDB. Dengan mengarahkan hidung pesawat terbang mengikuti arah jarum penunjuk maka pesawat terbang akan sampai di atas stasiun pemancar NDB (lihat gambar 1 di bawah ini).



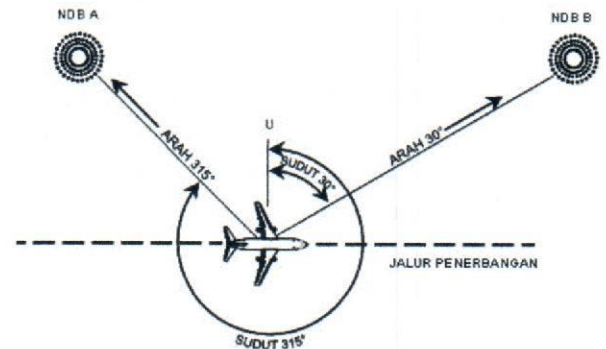
Gambar 1. Teknik bernavigasi dengan menggunakan NDB

Kelemahan teknik bernavigasi menggunakan NDB adalah apabila ada angin kuat dari samping, pesawat terbang tidak dapat bertahan pada jalur penerbangan yang ada. Ia bisa melenceng ke kiri atau ke kanan tergantung dari mana angin berhembus. Namun meskipun melenceng dari jalur tetapi penerbang tetap bisa mencapai tujuan sepanjang mengikuti arah jarum RMI (lihat gambar di bawah ini).



Gambar 2. Lintasan terbang dengan NDB

Apabila penerbang menyetel indikator magnetik radio tersebut ke dua buah NDB, maka jarum penunjuk yang satu menunjuk ke arah NDB yang satu dan jarum lainnya ke NDB lainnya. Dengan menghubungkan kedua arah NDB, maka penerbang akan mengetahui lokasi pesawat terbang (lihat gambar 3 di bawah ini)



Gambar 3. Menentukan posisi dengan menggunakan dua buah NDB

NDB dinamai dengan dua karakter (huruf) yang dipancarkan terus menerus menggunakan sandi morse. Hampir seluruh bandar udara sedang dan besar di Indonesia dilengkapi dengan NDB yang berfungsi untuk memberikan informasi posisi bandar udara (*homing facilities*) atau alat bantu pendekatan (*approach fix*) dan beroperasi sesuai dengan jam operasi bandar udara (*operating hours*). Di samping untuk keperluan memberikan posisi bandar udara, NDB secara bersamaan juga digunakan untuk menandai posisi laporan (*reporting point*) bagi pesawat yang terbang lintas atau jelajah (*en-route*) dan beroperasi selama 24 jam terus menerus.

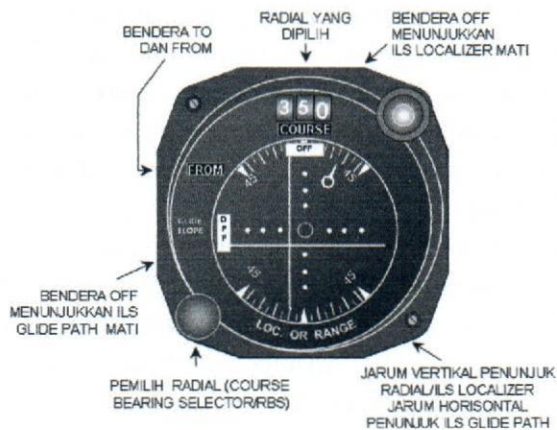
b. VHF-*omni directional radio range* (VOR)
VOR adalah peralatan navigasi radio yang paling banyak digunakan dengan alasan karena frekuensi radionya jauh lebih tinggi dari frekuensi radio NDB (lebih akurat dan bebas dari gangguan cuaca). Setiap stasiun VOR memancarkan gelombang radio secara terus menerus yang secara teoretis tidak

terbatas jumlahnya ke segala arah seperti jari-jari sepeda yang disebut dengan *radial*. Meskipun jumlahnya tidak terbatas, namun untuk keperluan praktis, radial yang digunakan adalah sebanyak 360. Radial dinamai berdasarkan arah ke mana gelombang radio memancar. Jadi misalnya radial 90 berarti pancaran gelombang radio yang arahnya ke timur.

Radial VOR dihasilkan dari penghitungan perbedaan fase antara dua sinyal. Untuk memudahkan pemahaman sinyal yang dipancarkan kita gambarkan sebagai sinar lampu. Lampu pertama berwarna merah dan dapat dilihat dari segala penjuru dan lampu satunya menyorotkan sinar berwarna putih ke satu arah dan berputar searah jarum jam dengan kecepatan satu kali putaran selama 360 detik. Setiap kali lampu putih mengarah ke magnet utara, maka lampu merah akan menyala selama satu detik. Jadi seandainya kita berdiri di utara stasiun VOR, maka kita akan melihat kedua sinar secara bersamaan. Tetapi kalau kita berdiri di sebelah timur stasiun VOR, maka pada saat lampu putih mengarah ke utara lampu merah akan menyala dan 90 detik kemudian lampu putih akan tampak dengan demikian kita berada pada radial 90 (putaran pada detik ke-90 setelah lampu merah menyala). Di dalam prakteknya, lampu merah dan lampu sorot putih tersebut diganti dengan sinyal gelombang. Dengan menghitung antara sinyal pertama dan sinyal kedua akan diketahui pesawat terbang berada pada radial berapa.

Peralatan di pesawat terbang untuk navigasi VOR disebut penunjuk VOR (*VOR indicator*) yang umum disebut sebagai jarum penunjuk silang (*cross pointer*). Dengan peralatan ini maka penerbang akan mengetahui apakah ia sedang menuju atau meninggalkan stasiun VOR dan apakah ia berada pada jalur yang benar atau menyimpang ke kanan/kiri sekian

derajat. Apabila jarum vertikal berada persis di tengah ia berada pada radial yang benar. Kalau jarum vertikal bergeser ke kiri berarti pesawat terbang berada di sebelah kanan radial (lihat gambar 4 di bawah ini).



Gambar 4. Instrumen indikator VOR dan ILS (*cross pointer*)

Kelebihan teknik navigasi dengan VOR di banding NDB, pesawat terbang bisa bertahan pada jalur penerbangan meskipun ada angin kuat dari samping sebab ada indikator yang menunjukkan apakah pesawat keluar jalur dan sejauh berapa derajat. Dengan menempatkan jarum vertikal *cross pointer* maka pesawat terbang akan bisa kembali ke jalur penerbangan semula (lihat gambar 5 dan 6 di bawah ini).



Gambar 5. Bernavigasi menggunakan VOR



Gambar 6. Lintasan terbang dengan VOR

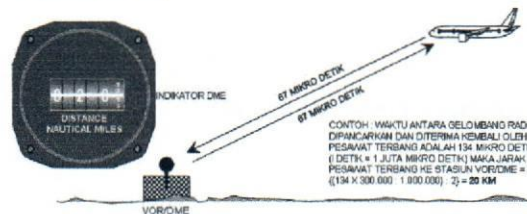
c. *Distance measuring equipment (DME)*

DME adalah stasiun radio yang dilengkapi dengan alat pengukur jarak antara pesawat

terbang dan stasiun DME. Jarak tersebut diperoleh melalui pengukuran waktu perjalanan gelombang radio yang dipancarkan oleh pesawat terbang kemudian di terima dan dipancarkan kembali oleh alat yang disebut transponder (*transmitter-responder*) di stasiun DME ke pesawat terbang.

Dengan menghitung waktu di bagi kecepatan gelombang radio (300.000 km/jam) maka akan diperoleh jarak antara pesawat terbang ke stasiun radio DME. DME bekerja pada frekuensi sangat tinggi (*ultra high frequency* atau UHF) yaitu antara 960 – 1215 MHz. Organisasi Penerbangan Sipil Internasional menetapkan toleransi ketepatan penunjukan DME yaitu plus-minus setengah mil atau tidak lebih dari 3 % dari jarak antara pesawat terbang dan stasiun DME, mana yang lebih besar.

Jarak maksimum efektif DME adalah sekitar 250 km dari stasiun DME. Angka penunjukan jarak dapat dilihat secara langsung oleh penerbang pada indikator DME (lihat gambar 7 di bawah ini).



Gambar 7. Pengukuran jarak menggunakan DME

Di dalam kegiatan penerbangan, DME digunakan antara lain untuk :

- 1) bersamaan dengan VOR memberikan arah dan jarak pesawat udara dari stasiun VOR/DME;
- 2) memberikan jarak positif kepada pesawat udara pada jalur yang sama dan dengan memakai stasiun DME yang sama maka petugas PLLU dapat memisahkan dua pesawat udara atau lebih;

3) bersamaan dengan alat bantu pendekatan, akan memberikan jarak pesawat udara dari ujung landasan;

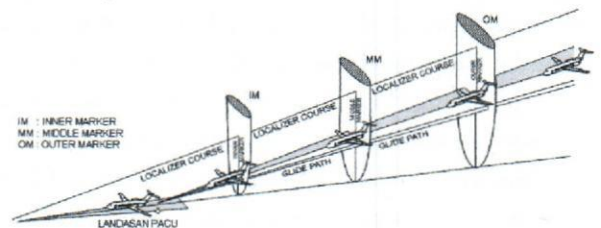
4) dengan menambahkan komputer, dapat dipakai untuk prosedur *area navigation* (RNAV);

5) pada kegiatan militer, digunakan untuk pengisian bahan bakar di udara. (*air refueling*).

VOR/DME yang digunakan untuk menandai posisi lapor (*reporting point*) bagi pesawat yang terbang lintas atau jelajah (*en-route*) beroperasi selama 24 jam terus menerus.

d. Marker beacon (MB)

MB adalah gelombang yang dipancarkan tegak lurus ke atas yang penampangnya berbentuk lonjong tipis atau berbentuk tulang (simbol makanan anjing). MB ini fungsinya adalah untuk menandai suatu tempat/titik di sepanjang jalur pendekatan (lihat gambar 8 di bawah ini).



Gambar 8. Penempatan marker beacon

MB yang penampangnya lonjong tipis disebut dengan *fan marker beacon*. MB bekerja pada gelombang 75 MHz yang membawa kode morse pada gelombang 3 000 MHz. MB terdiri dari tiga jenis (di kebanyakan bandar udara biasanya berjumlah dua buah yaitu MM dan IM) di pasang sebagai pelengkap pendaratan secara instrumen (ILS) dan masing-masing adalah :

- 1) *Outer marker* (OM) : ditempatkan pada jarak antara 3 – 6 NM dari ujung landasan (biasanya 3,9 NM) memancarkan dua garis (*dashes*) perdetik pada frekuensi 400 MHz dan apabila pesawat terbang melewati di atasnya maka kode morse terdengar dan

lampu berwarna biru di *cockpit* akan menyala berkedip-kedip;

2) *Middle marker* (MM) : ditempatkan antara 900 – 1200 meter dari ujung landasan memancarkan satu garis dan satu titik (*dots*) secara bergantian pada frekuensi 1 300 MHz dan apabila pesawat terbang melewati di atasnya maka kode morse akan terdengar dan lampu berwarna kuning sawo akan menyala berkedip-kedip.

3) *Inner marker* (IM) : ditempatkan antara 300 – 400 meter dari ujung landasan memancarkan 6 titik (*dots*) perdetik pada frekuensi 3 000 MHz dan apabila pesawat terbang melewati di atasnya maka kode morse akan terdengar dan lampu berwarna putih akan menyala berkedip-kedip.

e. *Instrument Landing Sistem* (ILS)

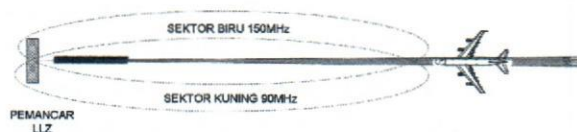
ILS adalah alat bantu pendaratan yang memberikan petunjuk baik vertikal maupun horisontal sehingga pesawat udara dapat secara presisi mendarat pada titik yang tepat. Alat ini memerlukan penafsiran penerbang dan utamanya dirancang untuk dipakai pada kondisi cuaca buruk. Sistem ini bekerja terus menerus tanpa bantuan dari petugas PLLU. Landasan yang dilengkapi dengan ILS disebut *precision approach instrument runway*.

Peralatan ILS terdiri dari peralatan di darat dan peralatan di pesawat udara.

1) Peralatan di darat terdiri dari beberapa komponen antara lain :

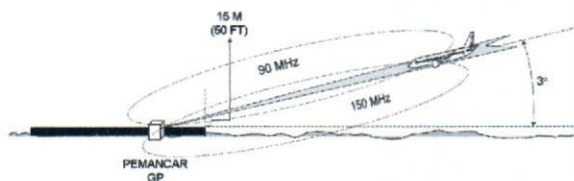
a) *Localizer* (LLZ) : yaitu alat yang memancarkan sorot (*beam*) yang diperoleh dari dua pancaran gelombang yang saling tumpang tindih (*overlap*) sekitar 5° pada frekuensi 150 MHz (disebut sektor biru) dan 90 MHz (disebut sektor kuning) dan menjangkau jarak sekitar 25 NM yang diarahkan ke sepanjang as landasan ke arah dari mana pesawat udara mendarat. Pemancar diletakkan di perpanjangan as landasan yang berjarak sekitar 300 meter dari ujung landas

pacu (lihat gambar 9 di bawah ini). LLZ bekerja pada gelombang 108 – 112 MHz.



Gambar 9. ILS Localizer

b) *Glide path* (GP) : yaitu alat yang memancarkan sorot (*beam*) yang diperoleh dari dua pancaran gelombang yang saling tumpang tindih (*overlap*) pada frekuensi 150 MHz dan 90 MHz yang diarahkan pada kemiringan antara 2.5° sampai 3.5° (idealnya 3°) ke arah dari mana pesawat mendarat dan dapat menjangkau sejauh 10 NM. Sorot GP melebar selebar 8° ke kiri dan ke kanan perpanjangan as landasan. GP bekerja pada gelombang 328,6 MHz – 335,4 MHz. Pemancar diletakkan di sebelah kiri/kanan as landasan yang berjarak sekitar 120 – 200 meter dari as landasan dan sekitar 1200 kaki dari ujung landasan (lihat gambar 10 di bawah ini)



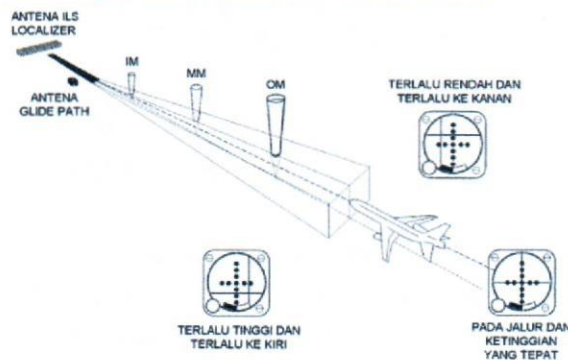
Gambar 6. Lokasi antenna pemancar GP

c) Peralatan di pesawat udara. Peralatan di pesawat udara disebut *cross pointer*. Disebut demikian sebab penampilan instrumennya terdiri dari dua jarum yang bersilang satu sama lain dan dapat bergeser ke kiri/kanan atau ke atas/bawah sesuai dengan posisi pesawat udara terhadap beam LLZ atau beam GP.

2) Peralatan di pesawat udara

Peralatan di pesawat terbang disebut *cross pointer*. Disebut demikian sebab penampilan instrumennya terdiri dari dua jarum yang bersilang satu sama lain dan dapat bergeser ke

kiri/kanan atau ke atas/bawah sesuai dengan posisi pesawat terbang terhadap *beam* LLZ atau *beam* GP. Cross pointer dapat pula dipadukan dengan indikator VOR. Cara kerja cross pointer adalah apabila jarum vertikal tepat di tengah berarti pesawat terbang tepat berada pada *beam* LLZ. Apabila jarum bergeser ke kiri berarti pesawat terbang menyimpang ke kanan, demikian pula sebaliknya. Apabila jarum horizontal tepat di tengah berarti pesawat terbang tepat pada *beam* GP. Apabila jarum bergeser ke bawah, berarti pesawat terlalu tinggi, demikian pula sebaliknya (lihat gambar 11 di bawah ini).



Gambar 11. Hubungan cross pointer dan posisi pesawat udara

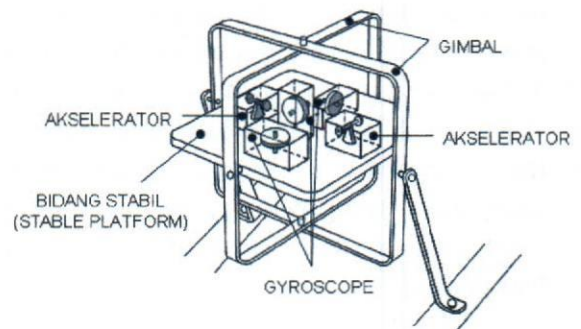
Pada *cross pointer* terdapat dua tanda atau bendera masing-masing untuk memberi tahu penerbang apakah LLZ-nya atau GP-nya hidup atau mati. Pada instrumen juga ada titik silang (masing-masing lima titik ke kiri/kanan dan lima titik ke atas/bawah. Untuk titik horizontal menunjukkan penyimpangan pesawat terbang dari LLZ sebesar $0,5^\circ$ setiap titik, sedangkan untuk titik-titik vertikal menunjukkan penyimpangan pesawat terbang dari GP sebesar $0,15^\circ$ setiap titik. Kedua jarum akan berada di titik pusat apabila (a) *cross pointer* dimatikan; (b) tidak ada sinyal dari pemancar LLZ maupun GP dan (c) pesawat terbang tepat berada pada jalur pendekatan (LLZ/GP). Bila salah satu dari kedua bendera keluar/menyala, itu merupakan

indikasi bahwa (a) adanya distorsi terhadap pancaran gelombang dari pemancar LLZ/GP; (b) pesawat terbang berada di luar jangkauan LLZ/GP; (c) kerusakan pada alat di darat; (d) peralatan di pesawat terbang/di darat dimatikan atau ada gangguan terhadap sumber tenaga dan (e) sinyal yang diterima sangat lemah.

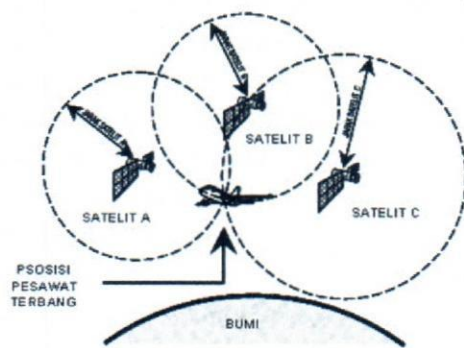
2. Navigasi penerbangan masa depan

a. INS (*inertial navigation system*)

INS adalah teknik navigasi menggunakan alat yang disebut *gyroscope*, di mana tiga buah akselerator yang dipasang masing-masing diarahkan pada arah yang berbeda yaitu depan-belakang, atas-bawah dan kiri-kanan. Alat ini tidak memerlukan alat bantu di darat. Prinsip dasar peralatan ini sebenarnya sederhana. Kalau kita mengetahui di mana pesawat terbang berangkat dan seberapa jauh telah bergerak dan ke arah mana, maka kita akan mengetahui posisi saat ini. Gerakan pesawat terbang ada tiga arah yaitu ke depan – dikenal dengan gerakan sepanjang sumbu x; ke samping – dikenal dengan gerakan sepanjang sumbu y dan ke atas/bawah – dengan gerakan sepanjang sumbu z. Jumlah gerakan diperoleh dari perhitungan akselerasi dari masing-masing arah. Akselerasi diperoleh melalui alat yang disebut akselerator yang dipasang pada bidang stabil (lihat gambar 12 di bawah ini).



Gambar 12. *Gyroscope* dan akselerator INS
Sebelum berangkat (paling tidak 15 menit sebelum pesawat terbang bergerak)



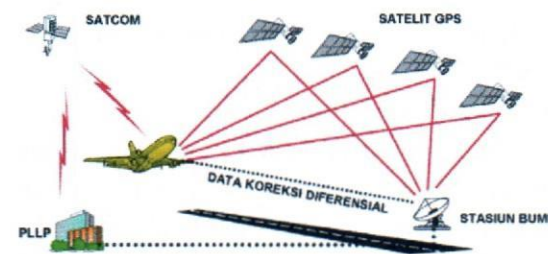
Gambar 16. Pengukuran posisi pesawat terbang dengan 3 buah satelit

Hasil pengukuran satelit tersebut (posisi dan kecepatan) oleh satelit dikirim ke stasiun bumi dan penerbang mengirimkan posisinya selanjutnya data tersebut dikirimkan ke layar monitor yang ada pada unit PLLU (lihat gambar 17 di bawah ini).



Gambar 17. Sistem navigasi masa depan (en-route)

Sedangkan jika digunakan untuk pendekatan, maka harus ada koreksi diferensial agar penerbang dapat memposisikan pesawat terbangnya lurus dengan poros atau sumbu landasan pacu (lihat gambar 18 di bawah ini).



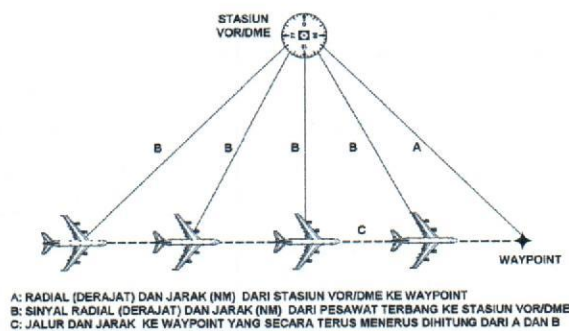
Gambar 18. Sistem navigasi masa depan (approach)

c. Area Navigation (RNAV)

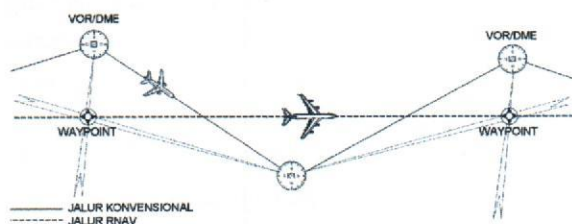
Sistem peralatan RNAV di pesawat terbang dirancang sebagai masukan sensor dari stasiun pemancar VOR/DME. Jantung dari peralatan ini adalah komputer RNAV di pesawat terbang yang secara matematik menghitung arah dan jarak terhadap VOR/DME yang sudah ditentukan sebelumnya menggunakan unit kontrol baik secara manual ataupun secara otomatis. Hasil dari perhitungan secara instant dan terus menerus ditampilkan kepada penerbang melalui indikator seperti indikator VOR, penampilan peta, indikator digital atau kombinasi dari semuanya.

Beberapa peralatan di pesawat terbang dapat menampilkan informasi dalam dua dimensi (2-D) yaitu posisi horizontal pesawat terbang (*along-track* dan *cross-track*) dan tiga dimensi (3-D) yaitu disamping posisi horizontal juga posisi vertikal. Pada peralatan yang mutakhir bahkan bisa menampilkan empat dimensi (4-D) yaitu dengan penambahan perhitungan yang dirancang untuk memposisikan pesawat terbang pada posisi tertentu pada waktu yang telah ditentukan. Variasi lainnya adalah peralatan juga bisa menghitung atau mengoreksi jarak miring atau *slant range*.

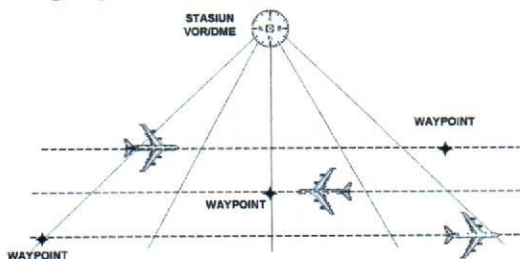
Navigasi ini menggunakan sinyal VOR/DME, yaitu penerbang menyetel (*tuning*) peralatan ke frekuensi, arah dan jarak *waypoint* dari VOR/DME (*waypoint* adalah titik lapor pesawat terbang di dalam sistem RNAV). Data tersebut kemudian di program dalam komputer dan selanjutnya komputer melakukan perhitungan jarak segitiga yaitu posisi pesawat terbang – posisi stasiun pemancar VOR/DME, posisi stasiun pemancar VOR/DME – posisi *waypoint* dan posisi pesawat terbang – posisi *waypoint* (lihat gambar 19 di bawah ini).



Gambar 19. Perhitungan segitiga RNAV
Bernavigasi RNAV tidak mengharuskan pesawat udara harus terbang melewati NAVAID, akan tetapi melewati jalur penerbangan yang lebih fleksibel dan efisien (lihat gambar 20 di bawah ini).



Gambar 20. Perbedaan antara jalur penerbangan konvensional dan RNAV
Dari uraian di atas, dimungkinkan pula untuk membentuk jalur penerbangan sejajar (*parallel*) pada jarak minimum yang ditetapkan sehingga secara teoretis jumlah pesawat udara yang bisa ditampung bisa berlipat ganda (lihat gambar 21 di bawah ini).



Gambar 21. Jalur penerbangan paralel menggunakan RNAV

1) Fungsi dasar

Sistem RNAV dirancang untuk memberikan tingkat ketepatan yang telah ditentukan dengan batasan-batasan jalur penerbangan

secara berulang dan jalur yang diperkirakan. Sistem ini mengintegrasikan informasi dari sensor/NAVAID seperti data udara, acuan inersia, navigasi radio dan navigasi satelit madukan dengan masukan (*input*) dari basis data internal dan data yang dimasukkan oleh awak pesawat udara untuk melaksanakan fungsi-fungsi navigasi, manajemen rencana terbang, panduan dan kendali (*guidance and control*) serta tampilan dan system kendali (*display and system control*).

Fungsi navigasi menghitung data yang meliputi posisi, kecepatan, sudut lintasan, sudut menanjak/menukik, sudut penyimpangan (*drift angle*) pesawat udara, variasi magnetik, ketinggian yang terkoreksi secara barometris kecepatan dan arah angin. Di samping itu, berfungsi pula melakukan penyetelan (*tuning*) secara otomatis maupun manual.

a) Sensor yang digunakan di dalam sistem RNAV

Untuk bernavigasi menggunakan RNAV beberapa alternatif sensor dapat digunakan. Untuk lebih jelasnya, dapat diilustrasikan sebagai gambar 22 berikut ini.

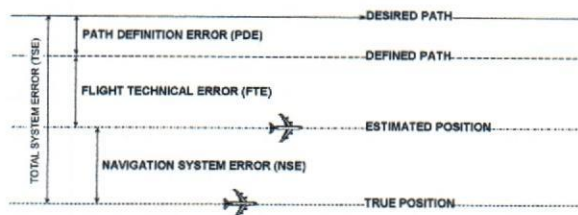


Gambar 22. Sensor yang digunakan dalam RNAV

b) Kesalahan navigasi

Ketidak mampuan sistem untuk mencapai tingkat ketepatan navigasi yang dipersyaratkan bisa ditimbulkan oleh kesalahan navigasi yang disebabkan oleh kesalahan mengarahkan dan memposisikan pesawat udara. Ada tiga kesalahan di dalam konteks kinerja alat peringatan dini

(*monitoring* dan *alerting*) yaitu kesalahan penentuan lintasan (*path definition error* – PDE), kesalahan teknik terbang (*flight technical error* – FTE) dan kesalahan sistem navigasi (*navigation system error* – NSE). untuk lebih jelasnya lihat gambar 23 di bawah ini.



Gambar 23. Kesalahan navigasi (lateral) dengan tingkat kepercayaan 95 %

PDE terjadi ketika lintasan yang ditetapkan di dalam system RNAV tidak sesuai dengan lintasan yang diperkirakan. FTE terkait dengan kemampuan awak pesawat udara atau peralatan *autopilot* untuk mengikuti jalur atau lintasan yang telah ditetapkan, termasuk kesalahan penampilan indikator penyimpangan arah (*course deviation indicator* – CDI);

Catatan.— FTE kadang-kadang disebut juga kesalahan mengemudi pesawat udara (*path steering error* – PSE).

NSE adalah perbedaan antara perkiraan posisi (*estimated position*) pesawat udara dan posisi sebenarnya (*actual position*).

Catatan.— NSE kadang-kadang disebut juga kesalahan memperkirakan posisi (*positioning estimation error* – PEE).

c) Persyaratan untuk penggunaan RNAV
Seperti telah diuraikan di atas bahwa di dalam implementasi sistem navigasi ini pesawat udara tidak terbang melalui NAVAID, oleh karena itu diperlukan persyaratan yang sangat ketat terhadap seluruh komponen yang terlibat di dalam implementasi RNAV antara lain :

- Pesawat udara (termasuk awak pesawat udara) harus memenuhi persyaratan/kriteria yang dimuat di dalam dokumen ICAO (Doc.

9613 – Performance-Based Navigation (PBN) Manual);

- Zona yang melindungi pergerakan pesawat udara dari rintangan/penghalang di sekitar lintasan/jalur penerbangan atau bandar udara (*protecting area/obstacle clearance*) harus memenuhi persyaratan/kriteria yang dimuat di dalam dokumen ICAO (Doc. 8168 – Aircraft Operations);

- Alat bantu navigasi (NAVAID) harus memenuhi persyaratan/kriteria yang dimuat di dalam dokumen ICAO (Annex 10 – Aeronautical Telecommunication Service, Vol. II – Radio Navigation Aids); dan

- Pemandu Lalu Lintas Penerbangan (*Controller*) harus memenuhi persyaratan/kriteria yang dimuat di dalam dokumen ICAO (Doc. 9613 – Performance-Based Navigation (PBN) Manual).

d. *Required Navigation Performance* (RNP)
RNP adalah sistem RNAV yang didukung oleh kinerja peralatan di pesawat udara yang memberikan peringatan dini (*monitoring* dan *alerting*).

1) Fungsi dasar

Sistem RNP saat ini memiliki persyaratan khusus termasuk :

a) kemampuan untuk mengikuti lintasan di darat yang direncanakan, termasuk lintasan jalur melingkar (*desired ground track*) secara andal, dapat diulang dan dapat diprediksikan;

b) bila mencakup profile (terbang) vertikal (menanjak/menunduk) untuk memberikan petunjuk kepada penerbang, menggunakan sudut vertikal atau batasan ketinggian yang ditentukan untuk menentukan lintasan menanjak atau menunduk;

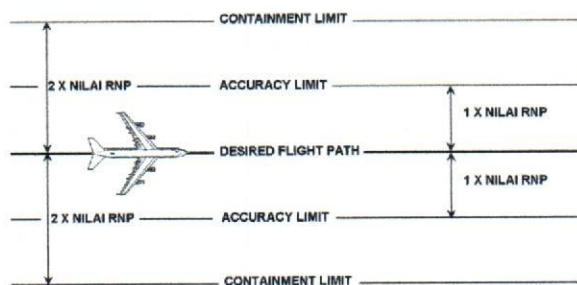
c) kemampuan kinerja peringatan dini bisa disajikan dalam berbagai bentuk tergantung dari sistem instalasi, arsitektur dan konfigurasi antara lain :

- tampilan (*display*) dan petunjuk kinerja sistem navigasi yang diperlukan atau yang diinginkan;
- pemantauan kinerja sistem dan peringatan kepada awak pesawat jika persyaratan RNP tidak terpenuhi; dan
- tampilan penyimpangan ke samping dari lintasan.

2) Persyaratan untuk penggunaan RNP

Ada beberapa persyaratan di dalam implementasi RNP antara lain :

- a) RNP hanya diimplementasikan di dalam jalur penerbangan atau ruang udara tertentu;
- b) RNP harus dilengkapi dengan sistem peringatan dini (*monitoring* dan *alerting*) di mana apabila pesawat menyimpang dari kriteria yang diberikan, maka awak pesawat udara akan mendapatkan informasi tentang adanya penyimpangan;
- c) Apabila membangun jalur penerbangan sejajar (*parallel*) atau berlawanan (*opposite*) maka perlu dipertimbangkan antara batas toleransi (*containment limit*), batas ketepatan (*accuracy limit*). Lebar batas toleransi adalah 2 X nilai RNP sedangkan batas ketepatan adalah 1 X nilai RNP (lihat gambar 23 di bawah ini). Jarak antar jalur dipisahkan oleh zona penyangga (*buffer*) yang lebarnya = 1 X nilai RNP.



Gambar 23. Lebar jalur RNP

e. Navigasi berbasis kinerja - NBK (*Performance-Based Navigation - PBN*)

NBK adalah RNAV yang dilaksanakan berdasarkan persyaratan kinerja bagi pesawat

udara untuk beroperasi di sepanjang jalur penerbangan, di dalam ruang udara tertentu atau melakukan pendekatan instrument ke suatu bandar udara. Persyaratan kinerja tersebut dinyatakan di dalam istilah :

- 1) ketepatan (*accuracy*) yaitu tingkat kesesuaian antara posisi pesawat udara yang diperkirakan/diperhitungkan dan posisi sebenarnya;
- 2) kesempurnaan alat (*integrity*) yaitu kemampuan sistem/peralatan memberikan peringatan dini jika terjadi kesalahan/kekeliruan atau penyimpangan melebihi toleransi yang ditetapkan;
- 3) kesiapan (*availability*) yaitu proporsi waktu bagi sistem/peralatan sebanding dalam arti mampu bekerja sesuai dengan jam operasional;
- 4) kontinuitas (*continuity*) yaitu tingkat di mana sistem/peralatan dapat secara continue bekerja tanpa mengalami gangguan;
- 5) fungsionalitas (*functionality*) yaitu sistem/peralatan dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya, apakah untuk tahap jelajah (*en-route*) di atas lautan (*oceanic*) atau di atas daratan (*continental*), pendekatan (*approach*) atau keberangkatan (*departure*).

Konsep NBK menggambarkan suatu perubahan dari navigasi berbasis penggunaan sensor (antenna/stasiun pemancar) di darat ke navigasi berbasis kinerja (peralatan navigasi di pesawat udara). Persyaratan kinerja diidentifikasi ke dalam spesifikasi navigasi yang juga mengidentifikasi pemilihan sensor dan peralatan yang digunakan untuk memenuhi persyaratan kinerja. Spesifikasi navigasi ini ditetapkan secara rinci untuk memudahkan penyalarsan secara global dengan memberikan pedoman implementasi bagi negara anggota dan operator.

Ada dua aspek di dalam implementasi PBN yaitu :

– Spesifikasi navigasi yaitu seperangkat persyaratan bagi pesawat udara dan awak pesawat udara yang diperlukan untuk mendukung aplikasi navigasi di dalam konsep ruang udara yang ditentukan;

– Infrastruktur alat bantu navigasi penerbangan.

Ada dua macam spesifikasi navigasi di dalam NBK yaitu :

– Spesifikasi RNAV yaitu spesifikasi navigasi yang tidak mempersyaratkan kinerja sistem/peralatan di pesawat udara harus dapat memberikan peringatan dini (*monitoring* dan *alerting*);

– Spesifikasi RNP yaitu spesifikasi navigasi yang mempersyaratkan kinerja sistem/peralatan di pesawat udara harus dapat memberikan peringatan dini (*monitoring* dan *alerting*);

Di dalam pemilihan apakah menggunakan sistem RNAV atau RNP ditentukan oleh beberapa pertimbangan antara lain :

– Kinerja yang bagaimana yang diperlukan oleh sistem;

– Fungsi-fungsi apa yang harus dilakukan oleh sistem navigasi untuk mencapai kinerja yang dibutuhkan;

– Sensor navigasi apa yang harus diintegrasikan untuk mencapai kinerja yang dibutuhkan; dan

– Persyaratan apa yang harus dimiliki oleh awak pesawat untuk mencapai kinerja dari sistem navigasi.

Dari pertimbangan tersebut baru ditentukan apakah sistem RNAV atau sistem RNP yang akan diimplementasikan. Ada beberapa pilihan yang diproyeksikan oleh ICAO seperti tertera pada tabel 1 dan tabel 2 di halaman xx: Infrastruktur alat bantu navigasi penerbangan terdiri dari dua kategori yaitu :

2) Alat bantu navigasi penerbangan yang berbasis di darat yaitu VOR dan DME (bukan NDB);

3) Alat bantu navigasi penerbangan yang berbasis di udara yaitu GNSS (seperti GPSAS, Glonass/Rusia dan di masa depan Galileo/Eropa, MSAS/Jepang, Gagan/India dll).

Seperti telah diuraikan di depan bahwa metode bernavigasi menggunakan RNAV dan/atau RNP ada dua jenis yaitu :

– menggunakan NAVAID yang berbasis di darat namun pesawat udara tidak harus terbang melewati NAVAID, sehingga memungkinkan untuk membuat jalur sejajar/paralel;

– menggunakan NAVAID yang berbasis di udara yaitu GNSS di mana pesawat udara tidak bertumpu kepada NAVAID di darat.

Tabel 1

Aplikasi implementasi PBN – ICAO

ZONA APLIKASI	KETEPATAN NAVIGASI (NM)	SPESIFIKASI NAVIGASI (SAAT INI)	SPESIFIKASI NAVIGASI (BARU)	PERINGATAN DINI
Jelajah lautan (en-route/oceanic)/ daerah terpencil (remote)	10	RNP 10	RNAV 10	Tidak
	4	RNP 4	RNP 4	Ya
Jelajah/darat (en-route/continental)	5	B-RNAV	RNAV 5	Tidak
	5	RNP 5	-	(Rdr mon)
Jelajah/darat (en-route/continental)/terminal ^{*)}	2	USRNAV (A)	RNAV 2	Tidak
Terminal ^{*)}	1	USRNAV (B)	RNAV 1	Tidak
	1	P-RNAV	B-RNP 1	Ya
Pendekatan (approach)	0.3	RNP 0.3	RNAV 1	Tidak
	0.3 – 0.1	RNP/SAAAR	B-RNP 1	Ya
			RNP 0.3 (APCH)	Ya
			RNP 0.3 – 0.1 (RNP/AR)	Ya

^{*)} Terminal : standard instrument departure (SID) dan standard instrument arrival (STAR)

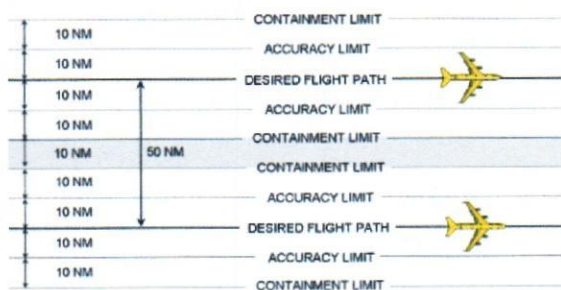
Tabel 2

Aplikasi spesifikasi navigasi berdasarkan tahap penerbangan

SPESIFIKASI NAVIGASI	TAHAP PENERBANGAN						
	JELAJAH		STAR	PENDEKATAN			
	LAUT-AN	DARAT-AN		INITIAL	INTER-MEDIATE	FINAL	MISSED
RNAV 10	10						
RNAV 5		5	5				
RNAV 2		2	2				2
RNAV 1		1	1	1	1		1 ^b
RNP 4	4						
B-RNP 1			1 ^{a,c}	1 ^a	1 ^a		1 ^{a,b}
RNP APCH				1	1	0,3	1
RNP-AR						0,1 0,3	

a. Aplikasi navigasi terbatas untuk STARs dan SID.
b. Zona aplikasi hanya digunakan setelah *initial climb* dari tahap *missed approach*.
c. Di luar 30 NM dari *airport reference point* (ARP), nilai ketepatan untuk peringatan dini menjadi 2 NM.

Di dalam pembentukan jalur penerbangan sejajar/paralel, maka harus diperhitungkan batas toleransi dan batas. Dengan menambahkan daerah penyangga selebar nilai RNP, maka jarak minimum antar jalur penerbangan = 2 X lebar batas toleransi + 1 X lebar daerah penyangga. Contoh misalkan RNP 10, maka jarak minimum antar jalur penerbangan = 2 X 20 + 10 = 50 NM (lihat gambar 24 di bawah ini).



Gambar 24. Jarak minimum antar jalur penerbangan sejajar

f. Keuntungan NBK

Dari uraian di atas, maka banyak keuntungan yang diperoleh di dalam implementasi NBK antara lain :

- 1) Mengurangi kegiatan perawatan peralatan di sepanjang jalur penerbangan termasuk biaya yang terkait;
- 2) Menghindarkan pembangunan peningkatan pengoperasian peralatan di sepanjang jalur penerbangan yang memerlukan biaya tinggi;
- 3) Memungkinkan penggunaan ruang udara secara efisien;
- 4) Klarifikasi mengenai bagaimana sistem RNAV digunakan;
- 5) Memudah proses perizinan operasional kepada operator dengan menerapkan spesifikasi navigasi terbatas untuk penggunaan secara global.

II. PEMBAHASAN

1. Permasalahan

Kondisi nyata Indonesia saat ini yang luasnya lebih dari 9-juta kilometer persegi (terentang dari 6° LU - 11° LS dan 96° BT - 141° BT) sekitar 65 % terdiri dari perairan dan 35 % terdiri dari daratan yang tersebar mencapai hampir 17.000 pulau besar dan kecil :

- a. sehingga menjadikan jalur penerbangan (jarak jauh) yang berawal dan berakhir di NAVAID harus berkelok-kelok dan saling berpotongan;
- b. jangkauan NAVAID yang seluruhnya dipasang di daratan, menyebabkan kemungkinan timbulnya wilayah kosong sinyal (*blankspot*) sehingga pesawat udara kehilangan panduan;
- c. jumlah NAVAID yang digunakan untuk keperluan penerbangan sekarang ini berjumlah ratusan (175 NDB + 75 VOR/DME + 29 ILS) yang memerlukan biaya perawatan;
- d. Sebagian besar NAVAID di Indonesia adalah NDB yang berfrekuensi rendah sehingga rentan terhadap gangguan cuaca, sementara Indonesia yang terletak di sekitar garis Katulistiwa (*Equator*) hampir sepanjang hari dan sepanjang tahun kondisi cuaca sangat tidak menentu;

e. jumlah pesawat udara kaliberasi (+ awak pesawat udara) sangat tidak sepadan dengan jumlah NAVAID yang harus dikaliberasi sehingga dewasa ini banyak NAVAID di Indonesia yang berada di dalam kondisi kadaluwarsa (*overdue*) yang secara yuridis dan operasional tidak boleh digunakan untuk bernavigasi;

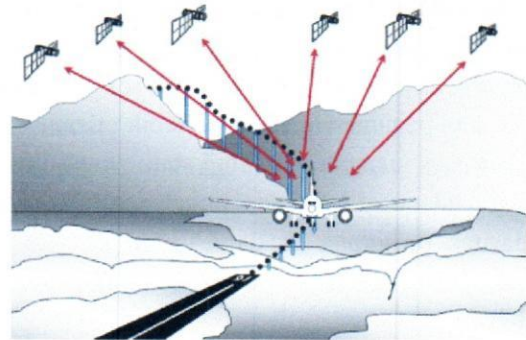
f. Daerah Papua yang berbukit dan bergunung-gunung serta kondisi cuaca cenderung buruk sepanjang hari di mana prasarana transportasi darat dan laut amat langka, maka satu-satunya alternatif transportasi yang paling cocok adalah transportasi udara. Kesulitan pemasangan NAVAID bergelombang tinggi terhambat oleh relief bumi sehingga menyulitkan penerbang di dalam bernavigasi di daerah ini.

2. Pemecahan masalah

Mengacu kepada keuntungan dan kondisi nyata di Indonesia, maka implementasi NBK berbasis peralatan di udara (GNSS) akan bisa memecahkan seluruh atau sebagian permasalahan di atas :

- Jalur penerbangan bisa direstrukturisasi dengan membentuk jalur penerbangan yang lebih lurus sehingga dapat menghemat waktu dan biaya;
- Wilayah kosong sinyal (*blankspot*) tidak akan terjadi sebab jangkauan satelit meliputi seluruh permukaan bumi (termasuk di lembah), 24 jam dan bebas gangguan cuaca;
- Pemerintah bisa terbebas dari kegiatan pemasangan dan perawatan NAVAID yang terpencar di seluruh pelosok tanah air;
- Pemerintah bisa terbebas dari kegiatan kaliberasi, dan armada kaliberasi bisa dialihkan menjadi armada untuk validasi semua rintangan (*obstacle*) di sekitar bandar udara guna pembuatan rancangan prosedur terbang instrumen;
- Pembuatan prosedur pendekatan dan/atau pendaratan lebih efektif (tidak bertumpu pada

NDB atau VOR/DME) di daerah Papua sehingga dapat membantu penerbang di dalam bernavigasi (lihat gambar 25 di bawah ini).



Gambar 25 Konsep GNSS approach

III. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan uraian di bab-bab terdahulu, maka penulis memberikan kesimpulan dan saran sebagai berikut :

1. Kesimpulan :

- NBK merupakan sistem navigasi yang efisien sebab memungkinkan pesawat udara untuk terbang dari bandar udara keberangkatan ke bandar udara tujuan secara langsung tanpa harus berkelok-kelok mengikuti posisi alat bantu navigasi penerbangan;
- NBK telah memungkinkan adanya peningkatan kapasitas sebab dengan sistem NBK dapat dibangun jalur penerbangan secara paralel;
- Di masa depan, NBK tidak akan menggunakan bantuan peralatan di darat, dengan demikian maka akan diperoleh keuntungan antara lain :
 - dengan tidak adanya peralatan di darat, maka biaya pengadaan, instalasi, kegiatan kaliberasi dan perawatan alat bantu navigasi bisa dihapus;
 - tempat-tempat yang selama ini tidak terjangkau oleh sinyal alat bantu navigasi penerbangan dapat di atasi oleh kinerja satelit yang dapat menjangkau seluruh pelosok

permukaan bumi selama 24 jam dan bebas gangguan fenomena cuaca;

2. Saran-saran :

- a. Dilakukan kaji ulang terhadap struktur jalur penerbangan dan prosedur pendekatan (*instrument approach procedure*) untuk dilakukan penataan ulang yang lebih efisien;
- b. Seiring dengan peningkatan kapasitas ruang udara dilakukan pula peningkatan kapasitas prasarana di darat sehingga tidak terjadi penundaan pendaratan pesawat terbang;
- c. Mengkaji keberadaan NAVAID yang kurang efektif dan efisien di dalam menunjang kegiatan operasi penerbangan (khususnya NDB). asi dan perawatan alat bantu navigasi bisa dihapus.

IV. DAFTAR PUSTAKA

- Annex 10 – ICAO – *Aeronautical Telecommunications – Radio Navigation Aids* (2008).
- Document 8168-OPS/611 – ICAO – *Aircraft Operations - Construction of Visual and Instrument Flight Procedures* (2008).
- Document 9613-AN/937 (ICAO) – *Performance-Based Navigation (PBN) Manual* (2008).
- Document 9750-AN/963 (ICAO) – *Global Air Navigation Plan* (2007).
- Document 9849-AN/457 (ICAO) – *Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual* (2005).
- FAA Manual - *Next Generation Air Transportation System* (2009).