

## ANALISIS PARAMETER-PARAMETER UTAMA UNTUK DESAIN SENSOR SAR PADA LSA (LAPAN *SURVEILLANCE AIRCRAFT*)

Muchammad Soleh<sup>\*)</sup>, Rahmat Arief<sup>\*)</sup>

<sup>\*)</sup>Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh LAPAN  
e-mail: msoleh76@gmail.com

### Abstract

The main parameters simulation of SAR sensor has been designed and developed for variety of vehicles such as UAV, LSA and Satellite. The parameters simulation will be focused to be applied on the LSA-STEMME S15 (LAPAN Surveillance Aircraft) that will bring multi-polarimetric SAR (HH, VH, HV, VV) sensor system. LSA-STEMME S15 sensor is capable to carrying payloads up to 160 kg are mounted on both sides of the wings with 1200 - 1800 meters height. Because of LSA antenna dimension limitation to bring sensor payload, sensor system parameter on LSA designed to give the maximum resolution output and not designed to give fixed resolution, and it could be achieved when space available. This paper explains an analysis of main parameters that will be recommended in LSA sensor system design included resolution of ground, azimuth and range, altitude and the incidence angle of sensor, LSA speed, SAR signal frequency and power. Analysis of the main parameters are expected to be the next recommendation for SAR sensor system design in LSA.

**Key Words:** *Synthetic Aperture Radar (SAR), LAPAN Surveillance Aircraft (LSA), STEMME S15, SAR parameters*

### Abstrak

Simulasi parameter-parameter utama sensor SAR (*synthetic aperture radar*) telah disain dan dikembangkan untuk berbagai wahana antara lain UAV, LSA dan Satelit. Simulasi parameter tersebut akan difokuskan untuk diterapkan pada wahana pesawat LSA (LAPAN *Surveillance Aircraft*) - STEMME S15 yang akan membawa sistem sensor SAR multi-polarimetrik (HH, VH, HV, VV). Pesawat LSA - STEMME S15 ini mampu membawa muatan sensor hingga 160 kg yang dipasang pada kedua sisi sayapnya dengan ketinggian terbang antara 1200 – 1800 meter. Oleh karena keterbatasan dimensi antena pada LSA dalam membawa muatan sensor, maka desain parameter sistem sensor LSA akan menghasilkan keluaran berupa resolusi maksimum yang bisa dicapai dengan *space* yang tersedia, bukan didesain untuk menghasilkan resolusi yang fiks. Untuk itu makalah ini bertujuan mempresentasikan analisis tentang parameter-parameter utama yang akan direkomendasikan dalam merancang sistem sensor untuk LSA, antara lain terkait dengan resolusi *ground*, *azimuth* dan *range*, ketinggian (*altitude*) dan sudut lihat (*incidence angle*) sensor, kecepatan wahana LSA, frekuensi dan *power* sinyal SAR yang ditembakkan ke arah obyek. Dari analisis ini diharapkan parameter-parameter utama tersebut menjadi masukan lanjutan dalam desain awal sistem sensor SAR pada LSA.

**Kata Kunci:** *Synthetic Aperture Radar (SAR), LAPAN Surveillance Aircraft (LSA), STEMME S15, parameter SAR*

## 1. Pendahuluan

Teknologi *Synthetic Aperture Radar* (SAR) telah terbukti merupakan suatu *tool* yang handal dalam mengamati bumi dan menyediakan data dan informasi citra resolusi tinggi untuk target obyek dan permukaan melalui suatu wahana yang bergerak. Tidak seperti sensor optik dan infra-merah, SAR memiliki kemampuan untuk beroperasi siang dan malam tanpa tergantung pada cuaca dan pencahayaan matahari (Skolnik 2001). Teknologi dan metode penggunaan data SAR telah dikembangkan untuk banyak aplikasi di Indonesia, seperti pemantauan hutan untuk mendukung program *Indonesian National Carbon Accounting System* (INCAS) dan misi lain yang bersifat darurat (seperti sistem peringatan dini tsunami, banjir, tanah longsor, dll). Potensi aplikasi data SAR untuk pemantauan hutan sangat tinggi, khususnya untuk mengamati kerusakan dan degradasi hutan. Spesifikasi data SAR yang diperlukan untuk pemantauan hutan adalah data SAR frekuensi C-band, polarisasi HH, VH, dan VV dengan rentang spasial resolusi antara 15~30 m dan 1~3m (Tjahjaningsih, et al. 2009). Tahapan pengolahan data SAR SAR meliputi pengolahan gambar, geometri konversi dan pengolahan aplikasi yang terkait.

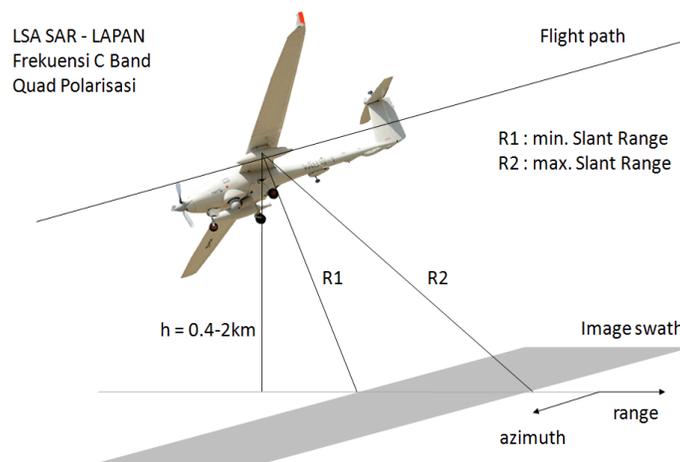
LAPAN dan TU-Berlin sedang mengembangkan *LAPAN Surveillance Aircraft* (LSA) STEMME S15 yang dapat diterbangkan dengan membawa muatan seberat 70 kg pada setiap sayap dengan ketinggian 400 – 2000 m yang dapat diaplikasikan untuk penginderaan jauh optik atau SAR (Hakim, et al. 2012). Salah satu bagian penting dalam desain sensor SAR pada LSA adalah menentukan parameter-parameter utama berkaitan dengan resolusi spasial (*ground*), resolusi *azimuth* dan *range*, kecepatan dan ketinggian wahana, sudut lihat obyek (*incident angle*) dan sebagainya. Parameter-parameter tersebut harus didefinisikan secara jelas sebelum merancang sebuah sistem sensor SAR pada LSA. Tulisan ini bermaksud memaparkan analisis tentang parameter-parameter utama dalam mendesain sensor SAR pada LSA. Diharapkan analisis ini menjadi masukan lanjutan dalam mendesain sensor SAR yang akan ditempatkan pada wahana LSA.

## 2. LSA Polarimetrik SAR

LSA polarimetrik SAR dirancang untuk beroperasi pada frekuensi C-band dengan kemampuan *quad-polarimetric* (HH, HV, VH, dan VV) yang ditempatkan pada LSA-STEMME S15. LSA adalah pesawat ringan dengan maksimum 2 penumpang yang dapat dimuati sensor penginderaan jauh untuk mengamati permukaan bumi. LSA dilengkapi dengan *mounting* untuk menempatkan *payload* (sensor) penginderaan jauh di bawah badan pesawat dan 2 buah di bawah kanan dan kiri sayap (Hakim, et al. 2012). Spesifikasi LSA SAR Polarimetrik yang lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 2-1.

Table 2-1. Spesifikasi LSA SAR Polarimetrik STEMME S15.

Spesifikasi	Satuan
Total Length	8.52 m
Total height	2.45m
Wing span	18m
Max Payload Weight under each wing	70kg
Max baggage weight	20kg
Velocity	36.11 m/s
Operating altitude	400m – 2000m
Max. Range	1300km



Gambar 2-1. Geometri LSA polarimetrik SAR

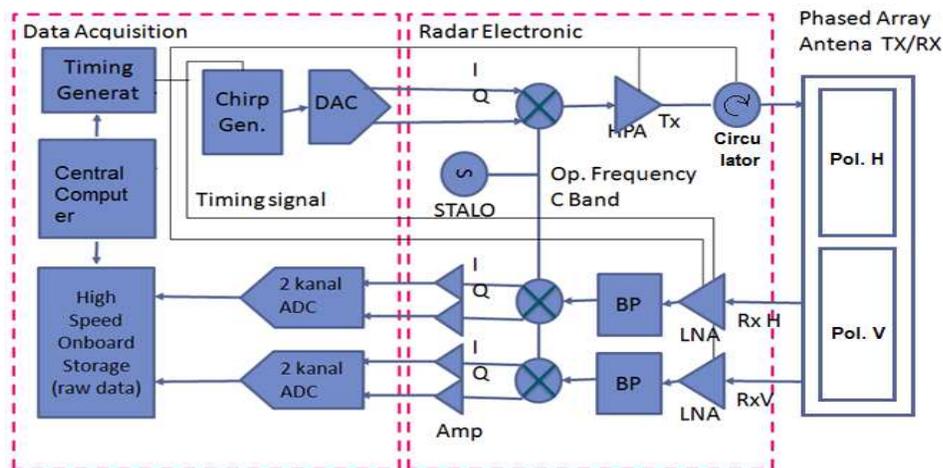
Modus operasi *stripmap* SAR mampu menghasilkan citra lebar resolusi tinggi dengan antenna yang relatif kecil dengan menggerakkan antenna terhadap target/obyek bergerak dengan kecepatan konstan. Suatu celah (*aperture*) lebih kecil akan menghasilkan berkas (*beam*) ke arah target pada jarak yang jauh. Suatu platform antenna yang bergerak ke arah  $x$  pada ketinggian  $h$  terhadap target, akan berpengaruh terhadap banyaknya jumlah *beam* yang dapat dikirim diterima oleh antenna (lihat Gambar 2-1).

Pemantauan bumi dengan sistem SAR *side looking* pada LSA mampu dioperasikan dalam modus *stripmap* dengan sudut lihat (*look angle*)  $25 - 60^\circ$  pada ketinggian  $400 - 2000$  mdpl. Secara teknis *look angle* ini mampu dioperasikan lebih dari  $60^\circ$ . Sistem SAR menggunakan suatu gelombang linear frekuensi termodulasi (LFM) sehingga disebut sebagai sinyal *chirp*. Radar mentransmisikan banyak gelombang dengan *bandwidth* frekuensi 100 MHz yang terpisah dalam suatu *Pulse Repetition Interval* (PRI) atau sebagai suatu kebalikan dari PRI yang disebut *Pulse Repetition Frequency* (PRF). Resolusi *range* ditentukan oleh sistem *bandwidth* 100 MHz. Hal ini berarti bahwa sistem SAR bisa menghasilkan resolusi *range* tertinggi sebesar 1.5 m. Sementara resolusi *azimuth* diperoleh sebesar 0.35 m yang merupakan nilai dari setengah panjang antenna 0.7 m.

Selama durasi penerimaan sinyal, antenna menunggu untuk menerima sinyal radar yang dipantulkan dari target yang berupa *echo* potongan rentang satu dimensi sebagai fungsi dari kecepatan waktu. Sinyal radar yang diterima dalam bentuk data *raw* SAR diasumsikan sebagai suatu sinyal *baseband* setelah demodulasi kuadrat dengan menghilangkan sinyal frekuensi pembawa. Demodulasi kuadrat menyebabkan sinyal berbentuk imajiner dan memiliki suatu fasa dan *magnitude* kuadrat.

### 3. Desain LSA SAR

Sistem SAR LSA terdiri dari 2 subsistem : subsistem antenna dan modul akuisisi sinyal SAR. Subsistem sinyal akuisisi SAR terdiri dari elektronik radar dan modul akuisisi data. Gambar 3-1 menggambarkan modul interkoneksi sistem SAR LSA.



Gambar 3-1. Arsitektur hardware LSA polarimetrik SAR

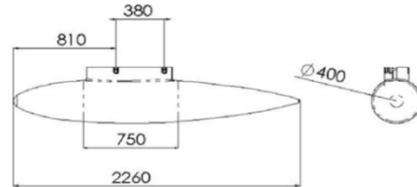
Desain antenna yang digunakan dalam sistem ini *phased array* dengan kemampuan *quad-polarimetric*. Sinyal ditransmisikan dalam polarisasi linear H atau V. Sinyal hamburan balik (*backscattered*) diterima oleh antenna dengan polarisasi vertikal dan horisontal dan data video didigitasi dengan ADC 4 kanal kecepatan tinggi untuk setiap polarisasi, masing-masing terbagi dalam dua sinyal

yaitu sinyal *inphase* (I) dan *quadrature* (Q). Selanjutnya data *raw* SAR dari setiap polarisasi H dan V disimpan ke dalam data navigasi dengan penyimpanan data kecepatan tinggi.

Antena *phased array* SAR multi-polarisasi diletakkan pada *mounting* tertentu (*pod*) yang terdapat di bawah sayap sisi kiri pesawat LSA-STEMME S15 (lihat Gambar 3). Antena SAR ditempatkan di luar *pod*. Keuntungan dari desain ini adalah bebas untuk mengoperasikan antena dengan *look angle* tertentu dan mudah untuk mengubah konfigurasi antena. Sedangkan sistem akuisisi SAR diletakkan di dalam *pod*. Sistem operasi LSA SAR dengan modus *stripmap* memiliki beberapa karakteristik yang dapat dilihat pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1. Karakteristik LSA SAR

Parameter SAR	Satuan
<i>Operating Frequency</i>	5.3 GHz
<i>Chirp/Baseband Bandwidth</i>	80 MHz
PRF	600Hz
Resolusi <i>Azimuth</i>	1 m
Resolusi <i>Range</i>	1.2 m
Resolusi <i>Ground Range</i>	3 m
<i>Look angle</i>	23.57 deg
Jangkauan ( <i>swath width</i> )	510 m (ketinggian 1000 m)
<i>Sampling</i>	4 channel, 250Msps, 12 bit

Gambar 3-2. *Mounting* Sensor SAR pada *pod* LSA

Terdapat satu unit komputer dalam akuisisi data SAR yang berfungsi mengatur pembangkit sinyal radar (*chirp*), menerima sinyal radar dari *backscattered* target dengan ADC kecepatan tinggi dan mengatur sinkronisasi waktu untuk transmisi dan penerimaan sinyal SAR. Dalam setiap sistem SAR, sinkronisasi waktu memiliki peran yang sangat penting sebab itu mengendalikan segala sesuatu yang terjadi pada sistem, ketika akan mengirim dan menerima sinyal *chirp*. Sinkronisasi ini berulang setiap interval waktu ( $PRI = 1/PRF$ ). Sinyal *chirp* ditransmisikan dalam polarisasi horisontal dan kemudian diterima oleh kedua antena multi-polarisasi dengan waktu tunda (*delay*) sebesar  $\tau_D$

$$\tau_D = \frac{2R}{c} \quad (2-1)$$

Jika *bandwith chirp* (B) sebesar 80 MHz, maka resolusi *range* dapat dihitung sebesar

$$\delta_r = \frac{c}{2B} = 120 \text{ cm} \quad (2-2)$$

Resolusi *azimuth*, dapat dinyatakan sebagai

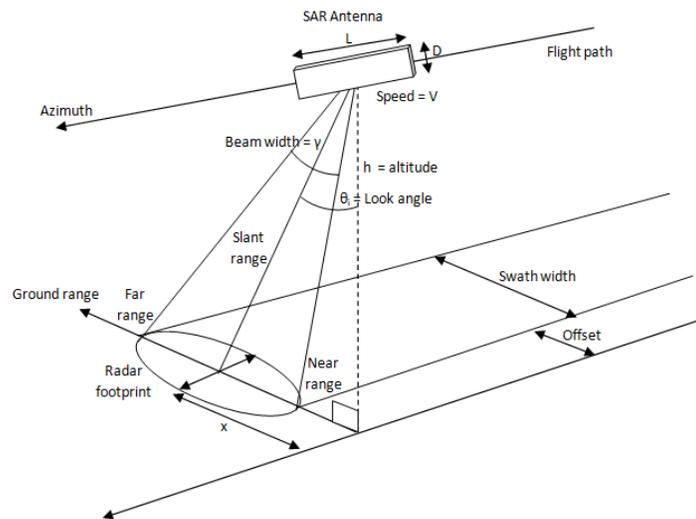
$$\delta_a \geq L_a/2 \quad (2-3)$$

Dimana  $L_a$  adalah panjang antenna. Sebelum sinyal *chirp* ditransmisikan, sinyal tersebut diperkuat sebelumnya oleh *High Power Amplifier* (HPA) di dalam modul elektronik radar. Hal ini diperlukan untuk mendapatkan sinyal yang memadai untuk penguatan *signal to noise ratio* (SNR) pada antenna penerima.

#### 4. Parameter Utama Desain LSA SAR

##### 4.1. Geometri SAR pada LSA

Gambar 4 menggambarkan geometri sederhana dari sebuah geometri LSA SAR *sidelooking* yang menunjukkan hubungan antara ketinggian/*altitude* ( $h$ ), sudut lihat obyek (*incident angle*) ( $\theta_i$ ) dan *beam width* ( $\gamma$ ). Radar yang dipasang pada platform LSA bergerak dengan kecepatan ( $v$ ), dengan orbit *near circular* pada ketinggian (*altitude*) yang konstan. *Beam* radar mengarah ke obyek tegak lurus terhadap orbit dan permukaan bumi yang datar dibawahnya. Dalam hal ini LSA SAR STEMME-S15 disimulasikan terbang pada ketinggian 400 - 2000 m dengan kecepatan 36,11 m/s.



Gambar 4-1. Geometri sederhana dari sistem SAR *sidelooking*

*Look angle* atau *incident angle* adalah sudut antara *beam* radar dan normal terhadap permukaan bumi pada titik tertentu. Sudut ini penting karena mempengaruhi *radar cross section* yang mengenai target area (pada umumnya, *incident angle* yang lebih kecil menghasilkan *backscatter power* yang lebih besar) namun menyebabkan resolusi *ground range* dan lebar sapuan (*swath width*) akan berkurang (dimana akan meningkat jika *incident angle*-nya lebih besar). Pada area *beam* radar antara  $\gamma_{\text{near}}$  dan  $\gamma_{\text{far}}$ , sistem harus mampu menjangkau area yang dimaksud. Catatan bahwa dengan memperbesar *incident angle*, hal tersebut dapat menyebabkan berkurangnya waktu akses sistem terhadap area yang diinginkan. Untuk itu nilai awal *incident angle* ditetapkan antara dari  $20^\circ$  -  $30^\circ$ . Dan selanjutnya kita dapat menghitung jarak *slant range*.

## 4.2. Resolusi Range

Pada suatu sistem SAR resolusi *ground range* dinyatakan sebagai  $\delta_r = c/2B \sin \theta_i$  dimana  $c$  adalah kecepatan cahaya,  $B$  adalah *bandwidth* pulsa radar dan  $\theta_i$  adalah *incident angle*. Karena keterbatasan teknologi, resolusi *range* dapat diperbesar dengan meningkatkan *bandwidth* pulsa radar namun kelemahannya adalah berkurangnya sensitivitas. Resolusi *range* juga dipengaruhi oleh besarnya *incident angle*, namun *incident angle* yang terlalu besar cenderung mengurangi *radar cross section* dalam arah normal. Hubungan antara *slant range* dan *ground range* diilustrasikan pada Gambar 4-1. Pusat *slant range* diberikan oleh persamaan  $R_c = \sqrt{h^2 + x^2}$  di mana  $h$  adalah ketinggian dan  $x$  adalah jarak dari titik nadir ke pusat *footprint*, dan besarnya *beamwidth range* diberikan oleh persamaan  $\delta_r = \lambda / D$  di mana  $\lambda$  adalah panjang gelombang radar C-band, dan  $D$  adalah ukuran diameter antena SAR.

## 4.3. Resolusi Azimuth

Besarnya resolusi *azimuth* dari sistem SAR didekati dengan persamaan  $\delta_a = L / 2$  atau setengah dari panjang  $L$  antena SAR. Persamaan ini juga menghasilkan nilai *beamwidth azimuth* sebesar  $\delta_a = \lambda / L$  di mana  $\lambda$  adalah panjang gelombang radar C-band dan  $L$  adalah panjang antena SAR.

## 4.4. Antena Sintetis

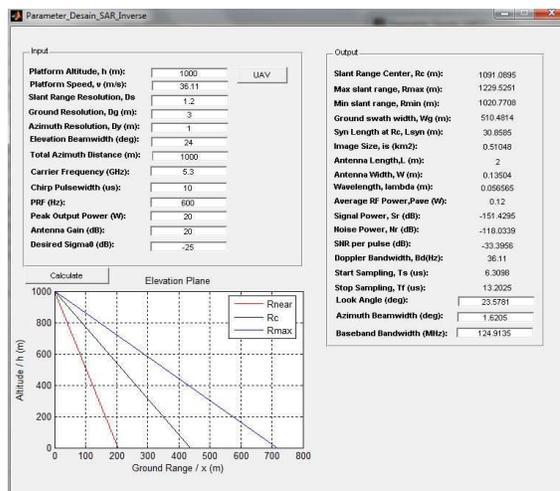
Pada sistem SAR, antena panjang antena sintetis bergantung pada besarnya *beamwidth azimuth* dikalikan dengan jarak *slant range*. Dalam hal ini panjang antena sintetis diberikan oleh persamaan  $L_{sa} = \delta_a \cdot R$  dimana  $\delta_a$  adalah *beamwidth azimuth* dan  $R$  adalah jarak *slant range*. Oleh karena  $\delta_a = \lambda / L$ , maka kita dapat menyatakan bahwa  $L_{sa} = \lambda R / L$  di mana  $\lambda$  adalah panjang gelombang radar C-band,  $R$  adalah jarak *slant range* dan  $L$  adalah panjang antena SAR.

Setelah sensor dan parameter utama SAR dirancang pada LSA, langkah selanjutnya adalah mensimulasikan parameter sistem SAR yang akan dihitung. Pada dasarnya, parameter masukan dibagi menjadi tiga jenis yaitu parameter geometri SAR, parameter konfigurasi sensor SAR dan parameter kualitas citra SAR. Parameter pertama adalah geometri SAR termasuk panjang dan lebar antena, ketinggian dan kecepatan platform, sudut lihat obyek (*incident angle*), *beam width azimuth* dan *range*, jarak total *azimuth*, jarak *slant range*, *slant range* minimum dan maksimum, lebar sapuan *ground swath* dan panjang sintetis antena. Parameter kedua adalah konfigurasi sensor SAR meliputi frekuensi sinyal pembawa (*carrier*), *baseband bandwidth*, lebar sinyal *chirp*, PRF (*pulse repetition frequency*), daya keluaran puncak (*peak power output*), penguatan antena (*gain*), panjang gelombang,  $\sigma_0$  yang diinginkan, daya sinyal, daya *noise*, SNR (*signal to noise*) per sinyal. Parameter ketiga adalah kualitas citra SAR meliputi *slant range*, resolusi *azimuth* dan *ground range*, dan ukuran citra.

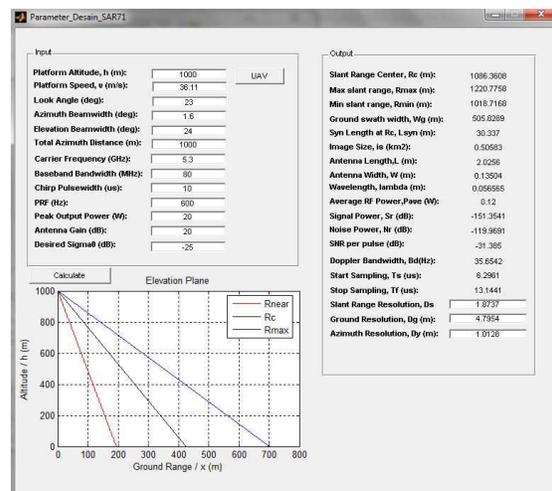
Dengan mempertimbangkan *trade-off* antar parameter SAR seperti telah disinggung di atas, dalam hal ini kami telah menghasilkan sebuah simulasi desain misi SAR yang akan diorbitkan. Simulasi desain ini sesuai dengan standar modus operasi SAR *stripmap*. Karena keterbatasan ruang lingkup, kajian ini baru hanya dilakukan untuk optimasi orde pertama. Dalam penelitian ini dua kemungkinan telah dipertimbangkan yaitu dengan asumsi sebagai berikut :

1. Sensor LSA SAR dalam keadaan ideal (*ideal case*), dengan asumsi di mana semua parameter masukan berupa sejumlah parameter fundamental (seperti polarisasi, frekuensi, dll) digunakan untuk menghasilkan sensitivitas dan resolusi *azimuth* dan *ground range* yang diinginkan.
2. Sensor LSA SAR dalam keadaan terbatas (*constraint case*), dengan asumsi di mana dimensi antenna dan daya rata-rata yang tersedia telah ditetapkan (fiks). Prosedur ini berguna untuk menguji misi yang diamban terhadap proses yang mungkin dilakukan. Hal ini dianggap lebih lebih realistis untuk perencanaan suatu misi dalam keadaan terbatas.

Untuk kasus ideal, resolusi tetap yang diinginkan dapat diperoleh. Namun LSA didesain untuk ukuran antenna yang terbatas karena mempertimbangkan teknik *mounting* dan *space* yang tersedia. Oleh sebab itu, keadaan ini mendorong kami untuk mensimulasikan desain dengan cara kedua (untuk kasus dalam keadaan terbatas).



Gambar 4-2. Simulasi sistem parameter SAR yang dirancang untuk resolusi fiks diinginkan



Gambar 4-3. SAR parameter simulasi sistem yang dirancang untuk ukuran antenna terbatas

Seperti ditunjukkan dalam Gambar 4-2 dan 4-3, parameter SAR telah disimulasikan dengan dua kemungkinan model, yaitu desain sistem parameter SAR dengan menginginkan resolusi yang fiks serta desain sistem parameter SAR untuk ukuran antenna yang terbatas. Sistem pertama adalah kasus yang ideal di mana didesain dengan resolusi *azimuth* dan *range* yang fiks untuk menentukan *look angle* (deg), *beamwidth azimuth* (deg) dan *baseband beamwidth* (MHz) pada sensor SAR. Sedangkan sistem kedua adalah kasus terbatasnya ukuran antena (karena keterbatasan *mounting* pada sayap LSA) untuk menentukan resolusi *azimuth* (m), *slant range* (m) dan *ground range* (m). Hasil simulasi model pertama untuk parameter desain SAR dengan resolusi fiks yang diinginkan ditunjukkan oleh Gambar 4-2 dan hasil simulasi kedua untuk parameter desain SAR dengan ukuran antenna yang terbatas ditunjukkan oleh Gambar 4-3.

## 5. Analisis Parameter Utama SAR pada LSA

Hasil simulasi parameter utama SAR pada LSA menghasilkan beberapa kesimpulan awal yang dapat dianalisis dan menjadi masukan dalam mendesain sebuah sistem sensor SAR. Pada dasarnya, parameter masukan tersebut dibagi menjadi tiga jenis yaitu parameter geometri SAR, parameter konfigurasi sensor SAR dan parameter kualitas citra SAR. Parameter pertama adalah geometri SAR termasuk panjang dan lebar antenna, ketinggian dan kecepatan platform, sudut lihat obyek (*incident angle*), *beam width azimuth* dan *range*, jarak total *azimuth*, jarak *slant range*, *slant range* minimum dan maksimum, lebar sapuan *ground swath* dan panjang sintesis antenna. Parameter kedua adalah konfigurasi sensor SAR meliputi frekuensi sinyal pembawa (*carrier*), *baseband bandwidth*, lebar sinyal *chirp*, PRF (*pulse repetition frequency*), daya keluaran puncak (*peak power output*), penguatan antenna (*gain*), panjang gelombang,  $\sigma_0$  yang diinginkan, daya sinyal, daya *noise*, SNR (*signal to noise*) per sinyal. Parameter ketiga adalah kualitas citra SAR meliputi *slant range*, resolusi *azimuth* dan *ground range*, dan ukuran citra. Berikut adalah beberapa parameter penting yang dianalisis dalam simulasi ini :

1. Ketinggian  $h$  terbang wahana LSA akan sangat mempengaruhi besarnya *range* dan nilai SNR. Makin besar nilai  $h$ , akan memperbesar *range* namun justru mengurangi besarnya perbandingan sinyal terhadap *noise* atau SNR. Karena nilai SNR sebanding dengan  $1 / R^4$ , dimana  $R$  adalah jarak sensor terhadap permukaan bumi. Dalam hal ini agar nilai SNR dapat diterima, maka *gain* antenna  $G$  harus ditingkatkan atau besarnya *power* sinyal  $P_t$  yang ditransmisikan bertambah besar sesuai dengan persamaan untuk  $SNR = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4 k T_0 B_n F}$ , dimana  $P_t$  adalah *power* sinyal radar,  $G$  adalah *gain* antenna, mana  $\lambda$  adalah panjang gelombang radar,  $\sigma$  adalah *radar cross section*,  $R$  adalah jarak sensor terhadap permukaan bumi,  $k$  adalah konstanta Boltzman  $1,380658 \times 10^{-23}$  JK<sup>-1</sup>,  $T_0$  adalah temperatur antenna,  $B_n$  adalah bandwidth pulsa radar dan  $F$  adalah *noise figure*.
2. Ketinggian  $h$  sebanding dengan besarnya *ground swathwidth*, namun tidak mempengaruhi besarnya resolusi *range* dan *azimuth*. Semakin tinggi LSA, maka akan makin besar nilai *ground swathwidth*. Namun besarnya nilai resolusi *range* dan *azimuth* tidak akan berubah (tetap), hal ini dikarenakan nilai resolusi *range* dan *azimuth* hanya dipengaruhi oleh panjang  $L$  dan diameter  $D$  antenna.
3. Besarnya nilai *look angle* atau *incident angle* akan mempengaruhi besarnya *ground swathwidth* dan resolusi *ground range*. Makin besar *incident angle* akan memperbesar nilai *ground swathwidth* dan resolusi *ground range*. Begitupun sebaliknya, makin kecil *incident angle* akan memperkecil nilai *ground swathwidth* dan resolusi *ground range*.
4. Kecepatan  $v$  wahana akan berbanding terbalik dengan besarnya nilai PRF (*pulse repetition frequency*) atau frekuensi perulangan pulsa. PRF adalah jumlah pulsa radar yang dihasilkan per satuan waktu. Oleh karena PRF adalah fungsi waktu, maka semakin cepat wahana terbang maka nilai PRF akan makin besar, begitupun sebaliknya. Nilai PRF ini akan mempengaruhi besarnya laju data yang dikirim dan diterima oleh antenna SAR.

5. Resolusi *range* ditentukan oleh lebar *bandwidth* yang sinyal yang ditransmisikan. Dalam hal ini menurunkan *bandwidth* pulsa radar akan menurunkan besarnya nilai resolusi *range*. Demikian sebaliknya. Namun jika *bandwidth* pulsa radar dinaikkan maka efeknya adalah berkurangnya sensitivitas.
6. Resolusi *range* dan *azimuth* dipengaruhi oleh panjang  $L$  dan diameter  $D$  antena. Memperbesar resolusi *range* dan *azimuth* dapat dilakukan dengan memperpanjang ukuran antena, namun persoalan lain muncul karena akan menambah berat antena yang akan dipasang. Untuk keadaan *space* yang terbatas, maka hal ini harus dihindari.
7. Besarnya frekuensi  $f$  dan panjang gelombang  $\lambda$  radar ditentukan oleh aplikasi dan resolusi yang diinginkan serta ketersediaan/keterbatasan teknologi yang ada. Dalam hal ini jika diinginkan penetrasi sinyal yang lebih baik maka dipilih  $f$  yang rendah dan  $\lambda$  yang panjang. Jika diinginkan resolusi yang lebih tinggi maka dipilih  $f$  yang tinggi dan  $\lambda$  yang pendek. Namun jika memilih  $f$  yang tinggi akan menyebabkan teknologi menjadi lebih rumit.

## 6. Kesimpulan

Sistem SAR telah didesain dan parameter utama sensor SAR pada LSA telah disimulasikan. Dalam tulisan ini, desain SAR dihitung dengan dua model, model pertama yaitu desain sistem parameter SAR untuk menghasilkan resolusi tetap (fiks) yang diinginkan. Desain pertama ini sangat mempertimbangkan ukuran dan berat antenna serta besarnya kebutuhan *power* yang dibutuhkan, sehingga untuk keadaan terbatasnya *space* pada LSA desain ini tidak direkomendasikan. Sementara model kedua adalah desain sistem parameter SAR dengan ukuran antena yang terbatas. Desain kedua ini mempertimbangkan resolusi maksimum yang bisa dihasilkan serta besarnya kebutuhan *power* yang dibutuhkan, sehingga untuk kasus LSA desain ini lebih sesuai untuk diterapkan. Sistem pertama telah dirancang dengan berbagai tetap dan resolusi azimuth untuk mendapatkan *incident angle* (deg), *azimuth beamwidth* (deg) dan *baseband beamwidth* (MHz) pada sensor SAR. Sedangkan sistem kedua telah dirancang oleh ukuran antena terbatas dengan mempertimbangkan aspek *mounting* untuk pemasangan *payload* sensor pada sayap LSA dan menghasilkan nilai *range* (m), *slant range* (m) dan resolusi *azimuth* (m).

Parameter utama telah disimulasikan dan dianalisis untuk kepentingan desain awal sistem sensor SAR pada LSA. Parameter ketinggian terbang wahana LSA akan sangat mempengaruhi besarnya *range* dan nilai SNR. Ketinggian terbang sebanding dengan besarnya perolehan *range*, namun berbanding terbalik dengan nilai SNR, sehingga untuk mengatasinya dibutuhkan *gain* antenna dan *power* sinyal yang lebih besar. Ketinggian terbang juga sebanding dengan besarnya *ground swathwidth*, namun tidak mempengaruhi besarnya resolusi *range* dan *azimuth*, karena resolusi keduanya hanya dipengaruhi oleh ukuran panjang dan diameter antena SAR. Besarnya nilai *incident angle* sebanding dengan besarnya perolehan *ground swathwidth* dan resolusi *ground range*. Kecepatan wahana akan berbanding terbalik dengan besarnya nilai PRF (*pulse repetition frequency*) yang akan mempengaruhi laju data yang dikirim dan diterima oleh antena SAR. Resolusi *range* ditentukan oleh lebar *bandwidth* yang sinyal yang ditransmisikan. Menurunkan *bandwidth* pulsa radar akan menurunkan besarnya nilai resolusi *range*,

demikian sebaliknya. Memperbesar resolusi *range* dan *azimuth* dapat dilakukan dengan memperpanjang ukuran antenna, namun persoalan lain muncul karena akan menambah berat antenna yang akan dipasang. Kemudian besarnya frekuensi  $f$  dan panjang gelombang radar  $\lambda$  ditentukan oleh aplikasi dan resolusi yang diinginkan serta ketersediaan/keterbatasan teknologi yang ada. Untuk tujuan agar penetrasi sinyal lebih baik maka dipilih  $f$  rendah dan  $\lambda$  panjang. Jika diinginkan resolusi lebih tinggi maka dipilih  $f$  tinggi dan  $\lambda$  pendek. Namun jika memilih  $f$  tinggi hal ini akan menyebabkan teknologi menjadi lebih rumit.

## 7. Daftar Rujukan

- Albert Garcia Mondejar Paco Lopez Dekker, *Feasibility Study on SAR Systems on Small Satellites*: by Project Advisor Barcelona, January 2009.
- Cumming, I.G., and F.H.C. Wong. *Digital Processing Of Synthetic Aperture Radar Data: Algorithms And Implementation*. Artech House, 2005.
- Hakim, Teuku Mohd Ichwanul, Wahyudi, Adi Wirawan, Lidia K Panjaitan, Dewi Anggraeni, and Fajar Ari Wandono. *Top Level Specifications For A Light Surveillance Aircraft*. Technical report, LAPAN, 2012.
- Skolnik, M.I. *Introduction to radar systems, 3rd ed.* McGraw-Hill, 2001.
- Tjahjaningsih, Arum, Kustiyo, Bambang Trisakti, Rokhis Komarudin, and Katmoko Ari Sambodo. *Kajian Spesifikasi Dan Aplikasi Satelit SAR (Synthetic Aperture Radar)*. Technical report, LAPAN, 2009.