

**PEMBUATAN PEMODELAN SISTEM *GROUND BASED SYNTHETIC*  
*APERTURE RADAR* (GB-SAR) UNTUK APLIKASI  
DETEKSI LONGSOR**

**SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Guna Memperoleh Gelar  
Sarjana Sains*



**FITRI DIANA**

**1201461/2012**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2016**

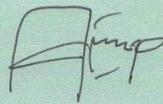
PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul : Pembuatan Pemodelan sistem *Ground Based Synthetic Aperture Radar* (GB-SAR) untuk Aplikasi Deteksi Longsor  
Nama : Fitri Diana  
Nim : 1201461  
Program Studi : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 4 Februari 2016

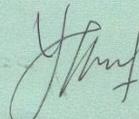
Disetujui Oleh :

Pembimbing I,



Drs. H. Asrizal, M.Si.  
NIP. 19660603 199203 1 001

Pembimbing II,



Yohandri, M.Si, Ph.D  
NIP. 19780725 200604 1 003

## PENGESAHAN TIM PENGUJI

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir

Program studi Fisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu

Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang

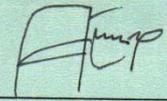
**Judul** : Pembuatan Pemodelan Sistem *Ground Based Synthetic Aperture Radar (GB-SAR)* untuk Aplikasi Deteksi Longsor  
**Nama** : Fitri Diana  
**NIM** : 1201461  
**Program Studi** : Fisika  
**Jurusan** : Fisika  
**Fakultas** : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 9 Februari 2016

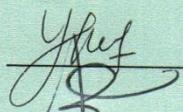
Tim Penguji

Tanda Tangan

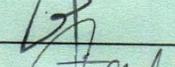
1. Ketua : Drs. H. Asrizal, M.Si.

1. 

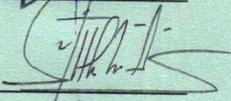
2. Sekretaris : Yohandri, M.Si, Ph.D.

2. 

3. Anggota : Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si.

3. 

4. Anggota : Zulhendri Kamus, S.Pd, M.Si.

4. 

5. Anggota : Dra. Hidayati, M.Si

5. 

### SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, 17 Februari 2016

Yang menyatakan,



Fitri Diana

## ABSTRAK

### **FitriDiana : PembuatanPemodelanSistemGround Based Synthetic Aperture Radar (GB-SAR) untukAplikasiDeteksiLongsor**

Indonesia merupakan salah satu negara yang sangat rentan terhadap bahaya iklim dan bencana alam yang terus meningkat. Salah satu kasus bencana alam yang sering terjadi di Indonesia adalah tanah longsor. Tanah longsor menyebabkan beberapa kerugian dan masalah bagi masyarakat. Alat deteksi longsor saat ini memiliki beberapa kekurangan. Salah satu teknologi yang bisa mengatasi kekurangan tersebut adalah teknologi *Synthetic Aperture Radar* (SAR). Umumnya teknologi SAR yang banyak digunakan saat ini adalah berbasis satelit yang hanya merekam suatu area dalam periode waktu tertentu. Untuk itu, dalam penelitian ini dilakukan kajian pendahuluan secara teoritis tentang sensor SAR yang dipasang langsung di area target (*Ground-Based SAR*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan formulasi parameter dari sistem GB-SAR untuk aplikasi deteksi bencana longsor.

Penelitian ini mensimulasikan pemodelan dari sistem GB-SAR terhadap target area dan menghasilkan perumusan geometri sistem GB-SAR dari penurunan sistem SAR dan geometri dari ilustrasi geometri sistem GB-SAR. Parameter yang divariasikan adalah kemiringan bukit, jarak sensor ke target dan bandwidth. Perangkat yang digunakan dalam pemodelan ini adalah software matlab 7.0 dengan jenis GUI matlab.

Dari penelitian ini ada tiga hasil yang dapat dikemukakan. Pertama, bentuk perumusan dari parameter geometri GB-SAR yang terdiri atas perumusan parameter  $R_{mak}$ ,  $R_{min}$ ,  $R_c$ ,  $G_s$ ,  $L_{syn}$ , dan  $I_s$ . Kedua, bentuk pemodelan dari sensor GB-SAR dengan area target yang dimodelkan pada software matlab. Ketiga, hubungan antara jarak terhadap slant range dan *ground swath* adalah berbanding lurus, sedangkan terhadap sudut kemiringan bukit berbanding terbalik, hubungan resolusi ground terhadap kemiringan bukit adalah berbanding lurus, sedangkan terhadap bandwidth berbanding terbalik.

**Kata Kunci:** Penginderaan jauh, SAR, GB-SAR.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Pembuatan Pemodelan Sistem *Ground Based Synthetic Aperture Radar (GB-SAR)* untuk Aplikasi Deteksi Longsor**”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Dalam menyelesaikan Skripsi ini, penulis banyak mengalami kendala dan hambatan. Namun, berkat bantuan yang bersifat membangun, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak akhirnya penulis dapat mengerjakannya. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Asrizal, M.Si., sebagai pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga, pikiran, dan kesabaran untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Yohandri, M.Si, Ph.D., sebagai pembimbing II dan juga sebagai Sekretaris Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang yang telah menyediakan waktu, tenaga, pikiran, dan kesabaran untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si., dan Bapak Drs. Zuhendri Kamus, M.Si., sebagai tim dosen penguji yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan dan saran kepada penulis.

4. Ibu Dra. Hidayati, M.Si sebagai dosen penguji dan juga sebagai Ketua Program Studi Fisika Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
5. Ibu Dra. Hj. Yenni darvina, M.Si., sebagai penasehat akademik.
6. Ibu Dr. Ratnawulan, M.Si., sebagai Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
7. Kepada seluruh staf pengajar Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang yang telah membekali ilmu dan pengetahuan kepada penulis selama perkuliahan.
8. Kedua orang tua dan semua anggota keluarga yang telah memberikan motivasi baik moril maupun materil.
9. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA UNP, khususnya rekan-rekan seperjuangan angkatan 2012 yang telah memberikan motivasi dan pengalaman yang berharga selama ini.
10. Semua pihak yang telah membantu penulis untuk mewujudkan dan menyelesaikan studi yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Peneliti menyadari bahwa dalam tulisan laporan penelitian ini masih terdapat kesalahan dan kelemahan. Untuk itu diharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Peneliti berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis sendiri maupun bagi pembaca.

Padang, Februari 2016

Peneliti

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	viii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang Masalah.. .....	1
B. Batasan Masalah.. .....	4
C. Perumusan Masalah .....	4
D. Pertanyaan Penelitian.....	5
E. Tujuan Penelitian.....	5
F. Manfaat Penelitian.....	6
<b>BAB II TINJAUAN TEORI</b>	
A. Pemodelan.....	7
B. Faktor-Faktor Penyebab Longsor.. .....	9
C. Teori Radar dan SAR.....	12
1. Radar.....	12
2. SAR.....	14
D. Parameter SAR.. .....	15
1. Geometri dari sensor SAR.....	15

2. Konfigurasi Sensor SAR.....	18
3. Parameter Pengolah Sinyal .....	19
4. Kualitas Gambar .....	20
E. Ground Based SAR.....	22
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
A. Jenis Penelitian .....	24
B. Variabel Penelitian.....	25
C. Software GUI Matlab .....	26
D. Pelaksanaan Penelitian.....	27
E. Prosedur Penelitian .....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Hasil Penelitian.....	32
1. Perumusan Parameter dari Sistem GB-SAR.....	33
2. Bentuk Pemodelan dari Sistem GB-SAR .....	39
3. Hubungan Parameter Masukkan dengan Parameter Geometri Sistem GB-SAR.....	42
B. Pembahasan .....	47
<b>BAB V PENUTUP</b>	
A. Kesimpulan.....	50
B. Saran.. .....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>52</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 1. Konsep dari Operasi Radar .....	12
Gambar 2. Dasar Monostatik Sistem Radar.....	13
Gambar 3. Ilustrasi Prinsip Kerja SAR.....	14
Gambar 4. Geometri <i>Slant Range</i> dan Geometri <i>Cross Range</i> .....	15
Gambar 5. Range Resolution dari Real Aperture Radar .....	20
Gambar 6. Resolusi Azimuth dari Radar .....	21
Gambar 7. Diagram Blok dari Sistem Polarimetrik GB-SAR Kompak .....	22
Gambar 8. Blok Diagram Sensor GB-SAR .....	23
Gambar 9. <i>Slant Range</i> Geometri .....	28
Gambar 10. Diagram Pemodelan Menggunakan Software Matlab .....	29
Gambar 11. Diagram Alir Perencanaan Penelitian .....	30
Gambar 12. Ilustrasi Sensor GB-SAR .....	32
Gambar 13. Ilustrasi Geometri <i>Slant Range</i> .....	33
Gambar 14. Geometri <i>Slant Range</i> .....	34
Gambar 15. Maksimum dan Minimum <i>Slant Range</i> .....	35
Gambar 16. Analisis Lebar <i>Ground Swath</i> .....	36
Gambar 17. Cross <i>Slant Range</i> .....	37
Gambar 18. Panjang Synthetic Aperture Pada Rc .....	37
Gambar 19. <i>Ground Range Resolution</i> .....	38
Gambar 20. Hasil dari Masukan Data I .....	40

Gambar 21. Hasil dari Masukan Data 2.....	41
Gambar 22. Hasil Masukkan Data 3 .....	42
Gambar 23. Hubungan Jarak terhadap <i>Slant Range</i> dan Gs .....	43
Gambar 24. Hubungan Kemiringan Bukit terhadap <i>Slant Range</i> dan Gs.....	44
Gambar 25. Hubungan Kemiringan Bukit terhadap Resolusi Ground .....	45
Gambar 26. Hubungan Baseband Bandwith terhadap Resolusi Ground .....	46

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 1. Hasil Pengaruh Jarak terhadap <i>Slant Range</i> dan Gs .....	43
Tabel 2. Hubungan Kemiringan Bukit terhadap <i>Slant Range</i> dan Gs .....	44

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 1. Penjabaran Penurunan Rumus dari Parameter Jarak Maksimum dan Minimum Slant Range .....	54
Lampiran 2. Penjelasan Perumusan Persamaan (26) .....	57
Lampiran 3. Hasil Pemodelan dengan Variasi Jarak dengan sudut alfa 50 ° terhadap <i>Slant Range</i> dan $G_s$ .....	58
Lampiran 4. Program Pemodelan Sistem <i>Ground Based Synthetic Aerture Radar</i> (GB-SAR) untuk Deteksi Tanah Longsor.....	59

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang Masalah**

Indonesia merupakan salah satu negara yang sangat rentan terhadap bahaya iklim dan frekuensi bencana alam yang semakin meningkat. Bencana alam dapat terjadi dimana saja dan kapan saja. Salah satu kasus bencana alam yang sering terjadi di Indonesia adalah tanah longsor. Bencana tanah longsor sering terjadi pada musim penghujan terutama di daerah lereng pengunungan dan perbukitan. Pada saat curah hujan tinggi mencapai 300 mm/hari maka potensi terjadi longsor sangat besar. Pada saat tanah mulai bergeser sejauh 3 cm maka tanah berpotensi longsor (Iswanto, dkk, 2009 : 53). Hujan memicu tanah longsor melalui penambahan beban lereng dan penurunan kuat geser tanah.

Kondisi wilayah yang berpotensi longsor menjadi masalah yang umum bagi masyarakat yang berada di daerah tersebut. Peristiwa tanah longsor menimbulkan banyak korban jiwa dan kerugian materil bagi kehidupan masyarakat. Kerugian lain yang disebabkan tanah longsor adalah terputusnya hubungan antar daerah. Salah satunya adalah terhambatnya pendistribusian bahan pangan, sandang dan kebutuhan lainnya.

Berbagai usaha terus dikembangkan baik pemerintah nasional maupun pemerintah daerah, guna mencegah dan mendeteksi dini terjadinya tanah longsor. Namun, dengan terbatasnya informasi dan sulitnya mendeteksi dini terjadinya longsor menyebabkan penanganan bencana ini masih kurang maksimal. Alat

deteksi longsor menggunakan sensor extensiometer yang telah ada saat ini mempunyai kekurangan diantaranya, penggunaan sistem yang sifatnya mekanis contohnya, penggunaan tali yang terhubung dengan sensor. Respon akan terganggu ketika sensor ini diinstal di lapangan pada daerah yang rentan tanah longsor jika ada hewan, batu, atau benda lain yang menggeser tali tersebut. Kerugian lainnya, alat deteksi ini memerlukan banyak titik untuk peletakkan sensor atau alat sesuai dengan luas area pengamatan, jika terjadi longsor alat tersebut akan terbawa longsor karena alat ini diletakkan pada daerah yang diperkirakan rawan longsor, dan sebagainya. Oleh karena itu, maka diperlukan suatu sistem teknologi yang bisa memonitoring pergerakan tanah secara terus menerus pada jarak jauh.

Teknologi yang dapat digunakan adalah teknologi alat pengindra jauh berbasis radar. Radar merupakan penginderaan yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik untuk mengiluminasi objek dan menerima sinyal pantulan. Penginderaan jauh radar memiliki keunggulan dalam sistem operasinya, diantaranya dapat beroperasi pada segala kondisi cuaca dan mampu menembus awan, bahkan canopi dari hutan. Selain itu, penginderaan jauh radar juga mampu bekerja kapan saja baik siang maupun malam. Saat ini data radar yang diterima berasal dari satelit yang datanya tidak bisa direkam terus menerus pada pusat daerah rawan longsor, sehingga radar ini tidak bisa digunakan untuk deteksi dini terjadinya tanah longsor. Dengan demikian perlu dikembangkan sistem radar yang bisa mendeteksi dan memberikan data pergerakan tanah secara terus menerus.

Salah satu inovasi dari sistem radar yang dikembangkan adalah penggunaan sensor Synthetic Aperture Radar (SAR). Sensor SAR merupakan radar citra (*imaging radar*) yang bekerja dengan menggunakan gerak relatif antara antena dan area targetnya untuk mensimulasikan antena yang cukup besar. SAR biasanya digunakan untuk penginderaan jauh airborne atau spaceborne. SAR juga dapat dimanfaatkan dalam sistem pencitraan radar berbasis *ground* yang dikenal dengan sistem GB-SAR (*Ground Based Synthetic Aperture Radar*).

Sensor GB-SAR menggunakan teknik yang sama dengan Satelit SAR. GB-SAR merupakan pelengkap yang valid untuk sensor satelit pada tanah longsor. Bahkan dalam beberapa situasi GB-SAR adalah satu-satunya sensor yang dapat dikerahkan untuk menjamin fleksibilitas yang diperlukan dan kemampuan beradaptasi yang diperlukan untuk setiap kasus tertentu (Tarchi, dkk, 2003). Sistem GB-SAR dapat menghasilkan gambar SAR yang kompleks pada daerah atau objek yang diteliti pada tempat sensor tersebut di pasang. Sistem GB-SAR mudah pelaksanaannya, hardwarenya relative murah dan cepat dalam pengambilan datanya dibandingkan SAR. Tidak seperti SAR yang pengamatannya sebagian besar dari bumi, sistem GB-SAR menghasilkan pencitraan resolusi tinggi untuk pengambilan bagian permukaan bumi dalam ukuran yang terbatas (Yigit, 2013).

Pada tahun-tahun terakhir ini, GB-SAR telah terbukti menjadi alat yang ampuh untuk perpindahan pemantauan dan deformasi yang menyertai gerakan massa seperti misalnya longsor (Antonello dkk, 2004; Tarchi dkk, 2003; Hamasaki dkk, 2005). GB-SAR digunakan untuk pemantauan perpindahan dari tanah longsor dan lereng. Susunan geometris dari GBSAR sangat berbeda dari

pengamatan spaceborn dan tergantung pada topografi lokal (Tarchi, dkk 2003). Perhitungan parameter diperlukan dengan menentukan perumusan atau formula dari sistem SAR dan desain dari alat yang akan dikembangkan perlu dikaji, sehingga diperoleh parameter kunci untuk mengembangkan sensor GB-SAR yang sesuai dengan kebutuhan. Untuk itu, dalam penelitian ini akan dilakukan pembuatan pemodelan sistem GB-SAR untuk perancangan parameter sistem GB-SAR untuk aplikasi deteksi bencana longsor serta program aplikasinya. Berdasarkan hal yang telah diuraikan, maka peneliti merasa tertarik untuk mengembangkan pemodelan sistem GB-SAR dengan judul penelitian “*Pembuatan Pemodelan Sistem Ground Based Synthetic Aperture Radar (GB-SAR) untuk Aplikasi Deteksi Longsor*”.

## **B. Batasan Masalah**

Agar penelitian yang dilakukan lebih terarah maka peneliti merasa perlu membatasi masalah dalam penelitian ini. Sebagai batasan masalahnya adalah :

1. Hasil penelitian sampai penulisan perumusan parameter geometri dari sistem GB-SAR untuk aplikasi deteksi longsor.
2. Hasil penelitian dibuat untuk parameter keluaran dari geometri dan konfigurasi sensor GB-SAR.
3. Hasil penelitian dibuat dalam grafik pemodelan berbasis matlab.

## **C. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini. Perumusan masalah dalam penelitian ini yaitu

“*Bagaimana Pemodelan Sistem Ground Based Synthetic Aperture Radar (GB-SAR) untuk Aplikasi Deteksi Longsor ?*”.

#### **D. Pertanyaan Penelitian**

Untuk menjelaskan permasalahan dalam penelitian ini dikemukakan beberapa pertanyaan sebagai berikut :

1. Bagaimana bentuk perumusan parameter geometri dari sistem GB-SAR untuk aplikasi deteksi longsor?
2. Bagaimana bentuk pemodelan dari sistem GB-SAR untuk aplikasi deteksi longsor?
3. Bagaimana hubungan parameter masukkan dengan parameter geometri sistem GB-SAR ?

#### **E. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab pertanyaan dari masalah-masalah yang telah dijelaskan sebelumnya. Tujuan utama dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan bentuk perumusan parameter geometri dari sistem GB-SAR untuk aplikasi deteksi longsor .
2. Menentukan bentuk pemodelan dari sistem GB-SAR untuk aplikasi deteksi longsor.
3. Menentukan hubungan antara kemiringan bukit dan jarak terhadap *slant range* serta kemiringan bukit dan bandwidth terhadap resolusi ground.

## **F. Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada :

1. Pemerintah pusat ataupun daerah dalam memantau kondisi suatu wilayah.
2. Bidang kajian elektronika dan instrumentasi ataupun jurusan fisika, sebagai acuan pengembangan ilmu dan teknologi yang berkembang sehingga melahirkan ide-ide baru yang lebih inovatif.
3. Peneliti lain, sebagai referensi untuk peneliti lain dalam pengembangan sistem GB-SAR selanjutnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Pemodelan**

Pemodelan adalah proses untuk membuat sebuah model (Marlissa, 2013). Kata model mempunyai banyak arti. Suatu model bisa berupa ikonik, simbolis, atau analistor. Model ikonik adalah reproduksi dari bentuk fisik objek, pada umumnya hanya perbedaan skala dan tidak terlalu detail (Ristono, 2010 : 51-52). Dari beberapa pengertian pemodelan tersebut dapat disimpulkan bahwa pemodelan adalah proses untuk membuat suatu tiruan dari suatu fenomena berupa simbolis, ikonik dan analistor.

Sistem pemodelan bertujuan untuk menganalisa dan memberi prediksi yang sangat mendekati kenyataan sebelum sebuah sistem nantinya diimplementasikan. Pemodelan secara umum merupakan pengembangan model matematika dengan bantuan *software* komputer. Adapun jenis-jenis pemodelan menurut Ristono (2010) sebagai berikut :

#### **1. Model Simbolis**

Model simbolis merupakan penyajian yang menyangkut hubungan konsep arti dalam berupa simbol. Contoh model ini adalah tabel perintah yang hirarkis dari suatu organisasi, memperlihatkan laporan untuk siapa. Contoh lain adalah suatu diagram yang melukiskan urutan keputusan yang perlu untuk dibuat.

## 2. Model Analogi

Analogi adalah salah satu jenis penalaran induktif. Model analogi merupakan replika/tiruan yang dilaksanakan dengan menganalogikan fenomena/peristiwa alam dengan fenomena/peristiwa alam yang lain untuk kemudian dibuat model fisiknya.

## 3. Model Matematika

Model matematika merupakan suatu pemodelan dimana hubungan diantara entitas kesatuan diwujudkan dalam format ekspresi matematika seperti fungsi, persamaan dan ketidaksamaan. Menurut Widowati dan Sutimin (2007), terdapat beberapa jenis model matematika meliputi :

### a. Model Empiris

Dalam pendekatan ini, gagasan yang utama adalah mengkonstruksi formula (atau persamaan) matematika yang dapat menghasilkan grafik yang terbaik untuk mencocokkan data.

### b. Model Simulasi

Dalam pendekatan ini, program komputer dituliskan didasarkan pada aturan-aturan. Aturan-aturan ini membentuk bagaimana suatu proses atau fenomena akan berjalan terhadap waktu dalam kehidupan nyata.

### c. Model Deterministik

Model ini meliputi penggunaan persamaan atau himpunan persamaan untuk mempresentasikan hubungan antara berbagai komponen (variabel) suatu system atau problem. Pada model ini, variasi random diabaikan. Dengan kata lain persamaan ini digunakan untuk menyatakan problem dunia nyata yang

diformulasikan berdasarkan pada hubungan dasar faktor–faktor yang terlibat dalam problem ini.

## **B. Faktor-Faktor Penyebab Longsor**

Longsor merupakan salah satu jenis gerakan massa tanah atau batuan, ataupun percampuran keduanya, yang bergerak keluar atau menuruni lereng akibat terganggunya kestabilan tanah maupun batuan penyusun lereng tersebut (Imanda : 2013). Pada prinsipnya tanah longsor terjadi bila gaya pendorong pada lereng lebih besar daripada gaya penahan. Gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah, sedangkan gaya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut lereng, air, beban serta berat jenis tanah/batuan (Kementrian Pekerjaan Umum, 2012).

Menurut Nandi (2007) ada 10 faktor pemicu terjadinya tanah longsor yaitu curah Hujan, lereng terjal, tanah kurang padat dan tebal, batuan yang kurang kuat, getaran, susut muka air danau atau bendungan, adanya beban tambahan, adanya material timbunan pada tebing, longsoran lama, adanya bidang diskontinuitas,

### **1. Curah Hujan**

Ancaman tanah longsor biasanya dimulai pada bulan November karena meningkatnya intensitas curah hujan. Intensitas hujan yang tinggi dan sering terjadi mengakibatkan kandungan air pada tanah menjadi jenuh dalam waktu singkat. Hujan lebat ini mengakibatkan tanah longsor. Hal tersebut terjadi karena pada tanah yang merekah air akan masuk dan terakumulasi di bagian dasar lereng, sehingga menimbulkan gerakan lateral.

## **2. Lereng Terjal**

Lereng atau tebing yang terjal akan memperbesar gaya pendorong. Lereng yang terjal terbentuk karena pengikisan air sungai, mata air, air laut, dan angin. Kebanyakan sudut lereng yang menyebabkan longsor adalah  $180^\circ$  apabila ujung lerengnya terjal dan bidang longsorannya mendatar.

## **3. Tanah yang Kurang Padat dan Tebal**

Jenis tanah yang kurang padat adalah jenis tanah lempung atau tanah liat dengan ketebalan lebih dari 2,5 m dan sudut lereng lebih dari 22 derajat. Tanah jenis ini memiliki potensi longsor bila terjadi hujan. Tanah ini sangat rentan terhadap pergerakan tanah karena menjadi lembek terkena air dan pecah ketika hawa terlalu panas.

## **4. Batuan Kurang Kuat**

Batuan endapan gunung api dan sedimen berukuran pasir dan campuran antara kerikil, pasir, dan lempung umumnya kurang kuat. Batuan tersebut akan mudah menjadi tanah apabila mengalami proses pelapukan. Umumnya rentan terhadap tanah longsor bila terdapat pada lereng yang terjal.

## **5. Jenis Tata Lahan**

Tanah longsor banyak terjadi di daerah tata lahan persawahan, perladangan, dan adanya genangan air di lereng yang terjal. Pada lahan persawahan akarnya kurang kuat untuk mengikat butir tanah dan membuat tanah menjadi lembek dan jenuh dengan air sehingga mudah terjadi longsor. Pada daerah perladangan disebabkan karena akar pohonnya tidak dapat menembus bidang longsor yang dalam dan umumnya terjadi di daerah longsor lama.

## **6. Getaran**

Getaran yang terjadi biasanya diakibatkan oleh gempa bumi, ledakan, getaran mesin, dan getaran lalu lintas kendaraan. Akibat yang ditimbulkannya adalah tanah, badan jalan, lantai, dan dinding rumah menjadi retak. Akibatnya, ketika terjadi hujan lebat akan mengakibatkan longsor.

## **7. Susut Muka Air Danau dan Bendungan**

Akibat susutnya muka air yang cepat didanau maka gaya penahan lereng menjadi hilang, dengan sudut kemiringan waduk 220 mudah terjadi longsor. Penurunan tanah biasanya diikuti oleh retakan.

## **8. Adanya Material Timbunan pada Tebing**

Pengembangan dan perluasan lahan permukiman umumnya dilakukan pemotongan tebing dan penimbunan lembah. Tanah timbunan pada lembah belum sempurna seperti tanah asli yang berada di bawahnya. Apabila hujan, akan terjadi penurunan tanah yang kemudian diikuti dengan retakan tanah.

## **9. Longsoran Lama**

Longsoran lama umumnya terjadi selama dan setelah terjadi pengendapan material gunung api pada lereng yang relative terjal. Selain itu, longsoran lama juga bisa disebabkan pada saat atau sesudah terjadinya patahan kulit bumi. Longsoran lama memiliki cirri yaitu, adanya tebing terjal yang panjang melengkung membentuk tapal kuda, umumnya dijumpai mata air, pepohonan yang relative tebal karena tanahnya gembur dan subur, daerah badan longsor bagian atas umumnya relative landai, dan dijumpai tebing-tebing relative terjal yang merupakan bekas longsoran kecil pada longsoran lama.

## 10. Penggundulan Hutan

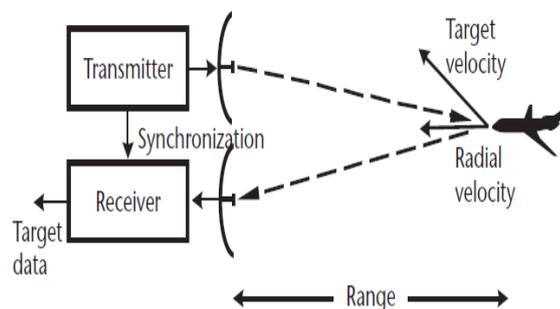
Penebangan hutan secara ilegal dapat memicu terjadinya tanah longsor. Tanah longsor terjadi dimana pengikatan air tanah sangat kurang. Akibatnya, kondisi tanah tidak bisa menahan air hujan yang cukup banyak.

### C. Teori Radar dan SAR

#### 1. Radar

Radar merupakan singkatan dari *radio detection and ranging*. Radar adalah sensor elektromagnetik untuk mendeteksi dan lokasi yang mencerminkan objek (Skolnik, 2008). Radar menggunakan energi sendiri untuk mendeteksi dan melacak target. Radar beroperasi sama, baik siang atau malam dan tidak dipengaruhi oleh kabut, awan, atau hujan. Radar telah lama digunakan untuk militer dan tujuan non-militer dalam berbagai macam aplikasi seperti pencitraan, bimbingan, remote penginderaan, dan posisi global (Das, 2011).

Kebanyakan radar menggunakan antenna yang sama untuk pemancar dan penerima. Ilustrasi dari konsep radar diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Konsep dari Operasi Radar (Curry, G Richard, 2005)

Gambar 1 menyatakan bahwa konsep operasi radar adalah energi frekuensi radio (RF) yang dihasilkan oleh pemancar, dipancarkan oleh antenna pemancar,

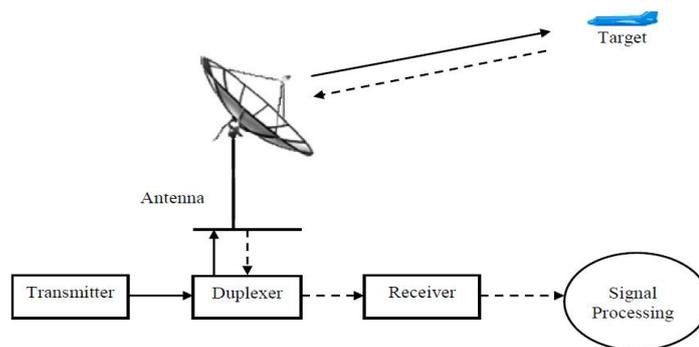
dicerminkan oleh target, dikumpulkan oleh antenna penerima, dan terdeteksi pada penerima radar (Curry, 2005).

Energi electromagnetic bergerak dengan kecepatan cahaya ( $c$ ), jarak dari radar ke target,  $R$ , dapat ditentukan dengan mengukur interval waktu,  $t$ , antara sinyal yang ditransmisikan dan sinyal yang diterima :

$$R = \frac{ct}{2} \quad (1)$$

Kecepatan perambatan electromagnetic di udara adalah mendekati kecepatan cahaya yaitu mendekati  $c = 3 \times 10^8$  m/s.

Diagram monostatik dari sistem radar dapat dilihat pada Gambar 2.



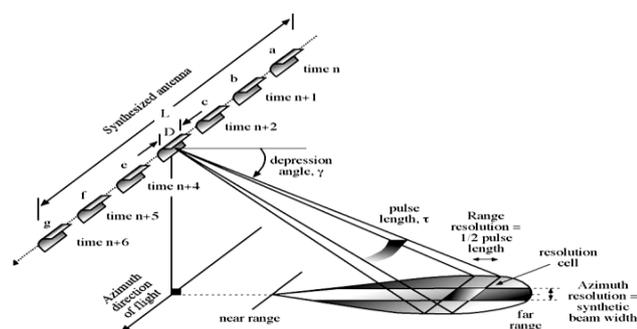
Gambar 2. Dasar Monostatik Sistem Radar (Faisal, 2010)

Gambar 2 menjelaskan bahwa transmiter dari sistem radar menghasilkan pulsa radio yang berdurasi pendek dari energy dan radiasi atau pancaran oleh antenna radar. Penggantian duplexer antenna radar antara transmiter dan receiver menyebabkan antenna bisa digunakan secara bersamaan. Mekanisme ini sangat penting karena jika energy diizinkan ke receiver, pulsa-pulsa yang berenergi tinggi dari transmiter akan membahayakan receiver. Receiver menguatkan dan demodulasi sinyal tercermin (gema) dari target pada tanah atau di udara dan kemudian mengirimkannya ke pengolahan sinyal (Faisal, 2010).

## 2. SAR

*Synthetic Aperture Radar* (SAR) adalah salah satu kelas spesifik dari radar. Dikatakan sintetik karena tidak menggunakan antenna panjang secara spesifik. Konsep dari SAR adalah memanfaatkan frekuensi dari sinyal radar sepanjang jalur spektrum untuk membedakan dua penyebaran pada pancaran antenna (Abidin, 2013).

SAR adalah salah satu teknologi radar yang dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan kamera optik yang telah lebih dahulu digunakan untuk aplikasi penginderaan permukaan bumi dalam jarak jauh (*remote sensing*). SAR merupakan sensor penginderaan jauh yang aktif (Zhou, 2003). SAR memanfaatkan prinsip kerja gelombang elektromagnetik sebagai sarana pengambilan data. SAR ini secara umum tersusun oleh *transmitter*, *receiver*, *onboard signal processing*, *S-band transmitter* dan *ground station*. *Transmitter* terdiri dari *chirp generator*, *bandpass filter* (BPF), *local oscillator* (LO), *power amplifier* (PA), switch untuk pemilihan jenis polarisasi antenna dan antenna pengirim dengan polarisasi sirkular (Rahmawati, dkk, 2011 : 2). Ilustrasi untuk sistem kerja SAR diperlihatkan pada Gambar 3.



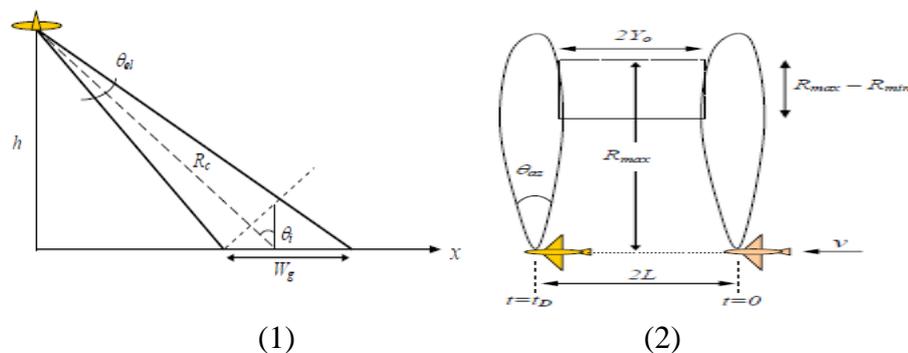
Gambar 3. Ilustrasi Prinsip Kerja SAR

Berdasarkan Gambar 3 dapat dijelaskan bahwa setiap pulsa yang dipancarkan dari sensor akan kembali diterima pantulannya pada sistem penerima dan direkam. Data-data yang direkam sepanjang lintasan pergerakan sensor akan diolah menggunakan variasi frekuensi Doppler dan demodulasi dengan mengatur variasi frekuensi pada sinyal yang diterima pada tiap titik dari area target. Melalui penyaringan sinyal ini akan dihasilkan gambar atau citra dengan resolusi tinggi.

#### D. Parameter SAR

##### 1. Geometri dari Sensor SAR

Geometri dari sistem sensor SAR terbagi atas dua yaitu geometri *slant range* dan geometri *cross range*. Ilustrasi dari geometri sensor SAR dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Geometri *Slant Range* (1) dan Geometri *Cross Range* (2)  
(Chan dan Koo, 2008)

Dengan asumsi untuk sistem pesawat, ketinggian jauh lebih kecil dari jari-jari bumi,  $h \ll R_e$ , dengan jari-jari bumi yaitu sekitar 6371 km (Chan dan Koo, 2008). Pengaruh sudut datang ( $\theta_i$ ) adalah

$$\theta_i = \sin^{-1} \sin \theta_l \frac{R_e + h}{R_e} \approx \theta_l \quad (2)$$

Analisis perumusan ini bisa dilihat pada Lampiran 2.

Pusat *slant range*,  $R_c$ , merupakan bidang yang memuat vektor kecepatan sensor dan vector *slant range* untuk sebuah target yang spesifik (Faisal, 2011). Berdasarkan Gambar 4, diperoleh  $R_c$  sebagai berikut

$$R_c = \frac{h}{\cos \theta_l} \quad (3)$$

Dengan  $h$  adalah ketinggian radar (m). dan  $\theta_l$  adalah sudut pandang ( $^\circ$ ). Dan untuk maksimum *slant range*,  $R_{max}$  yaitu besar jarak maksimum yang dapat disapu oleh sebuah pulsa yang sejajar dengan letak objek sapuan diberikan :

$$R_{max} = \frac{h}{\cos \theta_l + \theta_{el}/2} \quad (4)$$

Sedangkan untuk minimum *slant range*,  $R_{min}$  yaitu besar jarak minimum yang dapat disapu oleh sebuah pulsa yang sejajar dengan letak objek sapuan diberikan :

$$R_{min} = \frac{h}{\cos \theta_l - \theta_{el}/2} \quad (5)$$

Dengan  $\theta_{el}$  adalah *elevation beamwidth* ( $^\circ$ ). Untuk lebar *Ground Swath*,  $W_g$  adalah sebagai berikut :

$$x_{max} = R_{max} \sin \theta_l + \theta_{el}/2$$

$$x_{min} = R_{min} \sin \theta_l - \theta_{el}/2$$

$$W_g = x_{max} - x_{min}$$

atau

$$W_g = \sqrt{R_{max}^2 - h^2} - \sqrt{R_{min}^2 - h^2} \quad (6)$$

$x_{max}$  adalah maksimum range (m) dan  $x_{min}$  adalah minimum range (m). Untuk Panjang gelombang dalam radar diketahui bahwa daya sinyal berbanding lurus dengan panjang gelombang jika semua parameter lainnya tetap konstan. Panjang gelombang diperoleh

$$\lambda = \frac{c}{f_c} \quad (7)$$

Dimana  $c$  adalah kecepatan cahaya ( $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ).  $f_c$  adalah *Carrier frequency* (Hz).

Panjang atau jarak radar synthetic aperture yang beroperasi atau panjang celah sintetik diberikan dengan persamaan :

$$L_{syn} = 2R_c \tan \theta_{az}/2 \approx R_c \theta_{az} \quad (8)$$

Dengan sintetik antenna *beamwidth*,  $\beta_s = \lambda / (2L_{syn})$ . Untuk total jarak penyinaran diperoleh :

$$2L = 2Y_0 L_{syn} \quad (9)$$

Ukuran pencitraan,  $I_s$  adalah luas sapuan radar yang disebabkan oleh setiap pancaran pulsa. Ukuran pencitraan merupakan hasil perkalian lebar *Ground Swath* dengan jarak azimuth total. Jarak terbang total adalah panjang sapuan radar pada sumbu azimuth, sehingga

$$I_s = 2Y_0 W_g. \quad (10)$$

Pada persamaan tersebut  $W_g$  merupakan *Ground Swath* dan  $2Y_0$  merupakan jarak azimuth total.

## 2. Konfigurasi Sensor SAR

*Average RF Power* ( $P_{ave}$ ) adalah daya rata-rata transmitter memancarkan gelombang selama kurun satu periode waktu. *Average RF power* dituliskan pada persamaan :

$$P_{ave} = P_t \times \tau_p \times PRF \quad (11)$$

PRF (*pulse Repetition Frequency*) adalah jumlah pulsa pancaran yang ditransmisikan setiap detik.  $P_t$  merupakan energy yang dipancarkan antenna, dan  $\tau_p$  merupakan panjang pulsa.

Persamaan radar untuk system radar bisa dituliskan :

$$S_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{4\pi^3 R^4} \quad (12)$$

Dimana :  $S_r$  = energi yang diterima antena

$G$  = antena *gain*

$R$  = jarak dari radar ke target

$\sigma$  = target radar *cross section*

*Signal to noise ratio* (SNR) didefinisikan sebagai perbandingan antara daya sinyal yang diinginkan terhadap daya noise yang diterima pada suatu titik pengukuran. Semakin besar harga SNR maka kualitas penerima akan semakin baik. Persamaan SNR dapat ditulis

$$SNR = \frac{S_r}{N_0} = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{4\pi^3 R^4 N_0} \quad (13)$$

Dengan  $\sigma = \rho_a \rho_g \sigma_0$  dan  $\sigma_0$  merupakan penyebaran kembali koefisien. *Thermal noise* dari penerima bisa dituliskan :

$$Thermal\ noise = kTBn \quad (14)$$

Dimana  $k$  adalah konstanta Boltzmann dengan nilainya  $1.38 \times 10^{-23} JK^{-1}$ , sedangkan  $T$  adalah *noise temperature*. Persamaan untuk *Noise power* adalah

$$N_0 = FkTBn \quad (15)$$

Dimana  $F$  merupakan eksperimen konstan yan disebut sebagai sistem *noise figure*.

### 3. Parameter Pengolahan Sinyal

*Sampling* adalah cara pengumpulan sebagian dari elemen sampel yang diteliti. Untuk radar, *sampling* tidak dilakukan setiap saat guna menghemat daya yang digunakan. *Sampling* dilakukan saat pantulan sinyal telah kembali diterima oleh receiver. Sinyal akan masuk (*start sampling time,  $t_s$* ) dapat diketahui dengan persamaan :

$$t_s = 2 R_{min}/c \quad (16)$$

*Sampling* pada sebuah radar tidak dilakukan seterusnya namun dilakukan hanya pada saat tertentu saja. Sinyal akan selesai dicuplik (*stop sampling time*) dapat diketahui menggunakan persamaan

$$t_f = 2 \frac{R_{max}}{c} \quad (17)$$

Nilai dari jarak sampel per pulsa per *channel*, diberikan

$$n = 2^{\log_2 |(t_f - t_s) f_s|} \quad (18)$$

Nilai dari sampel azimuth yang terdiri dari sebuah panjang sintetik diberikan

$$m_s = \frac{L_{syn} PRF}{v K_p} \quad (19)$$

Total nilai dari sampel azimuth,  $m$  adalah

$$m = 2 L/d_u \quad (20)$$

$d_u$  merupakan jarak sampel azimuth setelah pre-summer filter, dengan nilai  $d_u$  adalah

$$d_u = \frac{v}{PRF} \times \frac{1}{K_p} \quad (21)$$

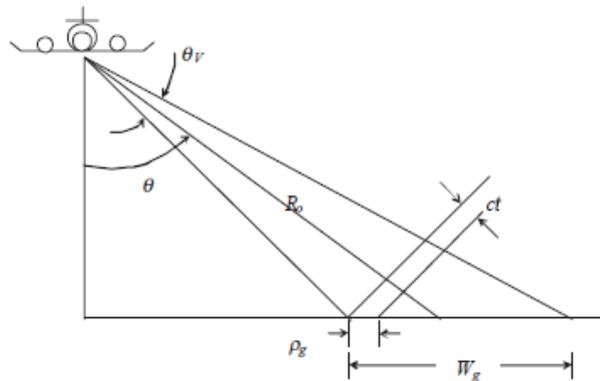
Dengan  $K_p$  adalah penomoran dari perkiraan filter.

#### 4. Kualitas Gambar

Parameter-parameter Pada kualitas gambar terdiri atas :

##### a. Resolution Ground

Resolusi ground ( $\rho_g$ ) didefinisikan sebagai kemampuan dari sistem untuk membedakan antara dua target pada ground. Ilustrasi untuk analisis  $\rho_g$  dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Range Resolution dari Real Aperture Radar

Ground range resolution diperlihatkan pada Gambar 5 sebagai  $\rho_g$ . Dengan  $\tau_p$  adalah  $1/B$  maka range resolution dari real aperture radar diberikan

$$\rho_g = \frac{c \tau_p}{2 \sin \theta} = \frac{c}{2 B \sin \theta} \quad (22)$$

Dimana  $\tau_p$  adalah panjang pulsa dan  $c$  adalah kecepatan cahaya.  $B$  merupakan nilai bandwidth dan  $c$  merupakan kecepatan cahaya yaitu  $3 \times 10^8$ .

##### b. Resolusi Slant Range

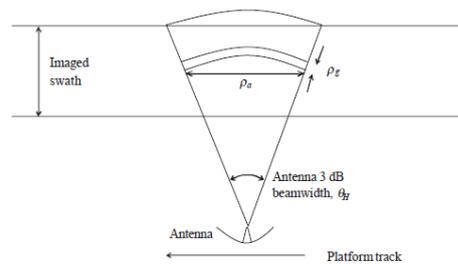
Resolusi *Slant range* ( $\rho_r$ ) didefinisikan sebagai jarak minimum sepanjang lintasan radar antara dua penyebaran bayangan yang masih bisa dideteksi secara tersendiri (Das, 2011). Berdasarkan Gambar 5 persamaan  $\rho_r$  dituliskan

$$\rho_r = \frac{c}{2B} \quad (23)$$

Pada persamaan (23) dapat diketahui bahwa  $\rho_r$  bergantung pada nilai bandwidth, B dan dengan ketetapan nilai kecepatan cahaya, c.

### c. Resolusi Azimuth

Resolusi azimuth ( $\rho_a$ ) adalah jarak minimum di ground pada arah sejajar dengan jalur penerbangan pesawat, dimana dua target dapat secara terpisah dicitrakan. Dua target terletak di kisaran kemiringan yang sama bisa diselesaikan jika mereka tidak dalam sorotan radar pada waktu yang sama. Gambar 6 menunjukkan penyebaran dari sorotan radar pada arah azimuth.



Gambar 6. Resolusi Azimuth dari Radar

Untuk resolusi azimuth diperoleh perumusan :

$$\rho_a = \frac{D}{2} = \frac{R_c \lambda}{2L \sin \theta_0} \quad (24)$$

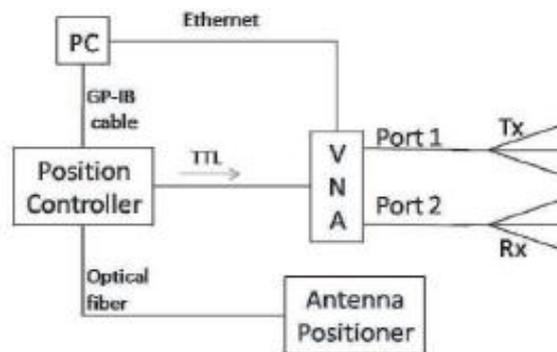
Dimana  $L \sin \theta_0 = 2 R_c \tan \left( \frac{\theta_z}{2} \right)$ , maka resolusi azimuth,  $\rho_a$  adalah

$$\begin{aligned} \rho_a &= \frac{R_c \lambda}{2 \cdot 2 R_c \tan \left( \frac{\theta_z}{2} \right)} \\ &= \frac{R_c \lambda}{4 R_c \tan \left( \frac{\theta_z}{2} \right)} \end{aligned} \quad (25)$$

Berdasarkan persamaan (25) diketahui bahwa resolusi azimuth,  $\rho_a$  tergantung pada nilai pusat slant range,  $R_c$  dan sudut azimuth,  $\theta_z$ .

### E. Ground Based SAR

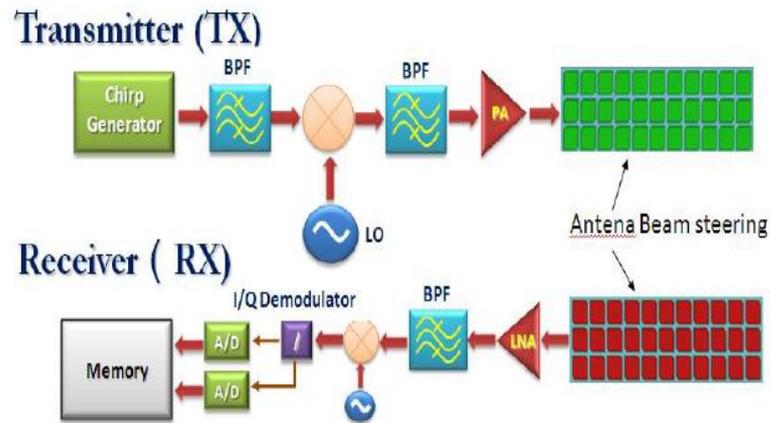
Sistem Ground Based Synthetic Aperture Radar (GB-SAR) adalah teknik pemantauan inovatif baru yang diciptakan yang bergantung pada penggunaan aplikasi berbasis ground dan pengukurannya berulang. Sebuah polarimetrik *ground* Berbasis-SAR (GB-SAR) sistem dapat digunakan tidak hanya untuk memeriksa hamburan sebuah properti target, tetapi juga untuk memantau vegetasi atau tanah longsor. Diagram blok dari sistem polarimetrik GB-SAR dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Blok dari Sistem Polarimetrik GB-SAR (Matsumoto dan Sato, 2010).

Bagian utama dari sistem pada Gambar 7 terdiri dari tiga komponen. Pertama adalah VNA kompak yang pengukuran rentang frekuensi adalah dari 2MHz untuk 6 GHz. Kedua adalah antenna positioner linear yang membawa antenna array dan VNA. VNA bekerja ketika menangkap sinyal pemicu dari controller dari positioner antenna untuk mencapai pemindaian terus menerus. Ketiga adalah sistem antenna (Matsumoto dan Sato, 2010).

Dalam perekaman data, sensor GB-SAR dibangun oleh beberapa blok rangkaian yang terdiri dari *transmitter*, *receiver*, dan antenna seperti terlihat dalam Gambar 8.



Gambar 8. Blok Diagram Sensor GB-SAR (Yohandri, 2012)

Seperti terlihat pada Gambar 8, antena terdiri atas dua bagian yaitu untuk penerima (Rx) dan sebagai pemancar (Tx). Transmitter terdiri atas chirp generator, bandpass filter (BPF), Local Oscillator (LO), Power Amplifier (PA), dan sebuah saklar (*switch*). Sementara itu receiver terdiri atas Low-Noise Amplifier (LNA), saklar yang berfungsi untuk mengurangi pengaruh antena pada *transmitter* dan *receiver*, BPF, I/Q demodulator untuk menghasilkan data in-phase dan quadrature (phase), analog/digital (A/D) converter, dan sebuah memori. Data yang tersimpan dalam memori selanjutnya akan diolah melalui beberapa tahap seperti *range compression*, *corner turn*, *azimuth compressions* dan sebagainya sehingga dihasilkan gambar SAR (Yohandri, 2012).

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

Penelitian yang dilakukan telah menjawab pertanyaan dari masalah-masalah yang telah diungkapkan sebelumnya. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu:

1. Bentuk penurunan perumusan dari parameter-parameter sistem sensor SAR untuk sistem sensor GB-SAR untuk aplikasi tanah longsor bisa dilihat pada persamaan (27) sampai (39).
2. Bentuk pemodelan dari Sensor GB-SAR dibuat dalam software berbasis GUI matlab menghasilkan pemodelan sesuai dari rancangan pemodelan yang dibuat yang tergantung pada formula dari parameter GB-SAR.
3. Hubungan antara kemiringan bukit terhadap :
  - a. Hubungan *slant range* dan  $G_s$  terhadap sudut kemiringan bukit adalah berbanding terbalik yaitu Semakin kecil sudut yang diinputkan maka nilai dari *slant range* dan  $G_s$  semakin besar dan sebaliknya. Pada hubungan antara jarak sensor ke target terhadap *slant range* dan  $G_s$  diperoleh jika nilai jarak yang dimasukkan besar maka nilai *slant range* dan  $G_s$  juga besar begitupun sebaliknya.
  - b. Hubungan resolusi ground dengan kemiringan bukit adalah berbanding terbalik. Hubungan antara bandwidth dengan resolusi ground juga berbanding terbalik.

## **B. Saran**

Hasil dari penelitian ini hanya berupa perumusan parameter-parameter dari sistem GB-SAR, program aplikasi dan pemodelan berbasis matlab untuk sensor GB-SAR. Pemodelan ini tidak bisa digunakan langsung untuk deteksi tanah longsor. Untuk itu, diperlukan pengembangan sistem GB-SAR dalam bentuk instrumen yang bisa digunakan langsung untuk deteksi dini terjadinya tanah longsor.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akmam. 2014. *Petunjuk Praktikum : Aplikasi Menggunakan M-File MATLAB*. Padang : UNP.
- Antonello, dkk. 2004. *Groud Based SAR Interferometry for Monitoring Mass Movements*.
- Chan, YK dan Koo, VC. 2008. *An Introducing To Synthetic Aperture Radar (SAR)*. Progress In Electromagnetics Reseach B, Vol. 2, 27-60.
- Curry, G Richard. 2005. *Radar System Performance Modeling*. 2<sup>sd</sup>. ed.
- Das, Subrata Kumar. 2011. *Shynthetic Aperture Radar Image Quality Measurement*. Electrical Engineering. Master Thesis. Blekinge Institute of Technology.
- Faisal, M. 2011. *Development of a GB- SAR System and Perform Basic and Advance Measurement for a Fixed Target*. Master Tesis. Blekinge Institute of Technology.
- Hamasaki, Tadashi, dkk. *Natural Objects Monitoring Using Polarimetric Interferometric Ground-Based SAR (GB-SAR) System*. International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2005, IGARSS 2005 proceedings, 6: 4092-4095, 25-29 July 2005.
- Imanda, Amy. 2013. *Penanganan Permukiman Di Kawasan Rawan Bencana Gerakan Tanah Studi Kasus : Permukiman Sekitar Ngarai Sianok Di Kelurahan Belakang Balok, Kota Bukittinggi*. Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota, Vol. 24 No. 2, hlm. 141-156.
- Indrasgoro, G P. 2013. *Geographic Information System (GIS) Untuk Deteksi Rawan Longsor Studi Kasus Di Kelurahan Karang Anyar Gunung Semarang*. Jurnal GIS Deteksi Rawan Longsor.
- Iswanto., Dkk. 2009. *Sistem Peringatan Dini Tanah Longsor Berbasis Atmega8535*. Seminar Nasional Informatika. Yogyakarta.
- Kementrian Pekerjaan Umum. 2012. *Pedoman Penyusunan Sistem Peringatan Dini dan Evakuasi untuk Banjir Bandang*. PSN xx : 2012.
- Kakiay, Thomas, J. 2003. *Pengantar Sistem Simulasi*. Yogyakarta : Andi Yogyakarta.

- M. Matsumo & M. Sato. 2010. *Development of Polarimetric Ground Based-SAR System with Compact VNA and Vivaldi Antenna Array*. *Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings*.
- Maria, Anu. 1997. *Introduction to Modelling and Simulation*. Proceeding of the 1997 Winter Simulation Conference. State University of New York at Binghamton.
- Marlissa, Julius. 2013. *Pemodelan dan Simulasi Sistem*. Riset Manajemen Operasi dan Bisnis. Universitas Mercu Buana.
- Nandi. 2007. *Longsor*, FPPIPS-UPI: Bandung.
- Rahmawati, Destia., dkk. *Perancangan dan Realisasi Low Amplifier (LNA) 1,265-1,275) GHz untuk Aplikasi Synthetic Aperture Radar (SAR)*. Laporan Penelitian. Universitas Telkom Bandung.
- Ristono, Agus. 2010. *Pemodelan Sistem*. Yogyakarta : Graha ilmu.
- Rodelspeger, S. 2011. *Real-time Processing of Ground Based Synthetic Aperture Radar (GB-SAR) Measurements*. Dissertation. Technische Universität Darmstadt : Darmstadt.
- Tarchi, D., Nicola. dkk. 2003. *Landslide Monitoring by Using Ground-Based SAR Interferometry: an example of application to the Tessina Landslide in Italy*. Engineering Geology.
- Yigit, Enes. dkk. 2013. "Short-Range Ground-Based Synthetic Aperture Radar Imaging: Performance Comparison Between Frequency-Wavenumber Migration and Back-Projection Algorithms". *Jurnal Of Applied Remote sensing*. Vol. 7.
- Yohandri. 2012. *Development of Circular Polarized Microstrip Antennas for CP-SAR System Installed on Unmanned Aerial Vehicle*. Chiba University. Chiba.
- Zainal, Abidin. 2013. "Analisis dan Simulai Parameter Radar terhadap Performansi Synthetic Aperture Radar (SAR) pada Tahap Awal Pencitraan Sensor Radar". Skripsi. Universitas Brawijaya.
- Zhou, Zheng-Shu. 2003. "Application of A Ground-Based Polarimetric SAR System for Environmental Study". Doctor of Engineering. Tohoku University.