

Pengembangan Aplikasi Analisis Parameter Sistem Ground-Based SAR

Yohandri^{1*}, Ilham Alimuddin², Asrizal¹

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Padang, Sumatera Barat.

²Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Tamalanrea, Makassar.

In Informasi Artikel

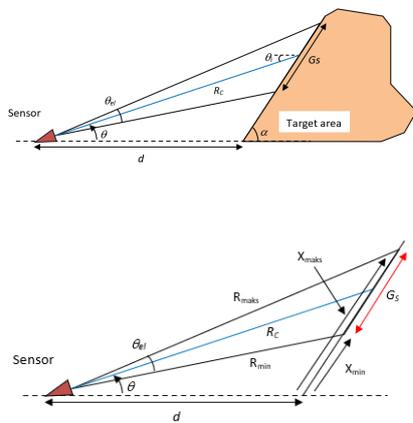
Naskah Diterima : 25 April 2020

Direvisi : 15 Mei 2020

Disetujui : 15 Juni 2020

*Korespondensi Penulis:
yohandri@fmipa.unp.ac.id

Graphical abstract



Abstract

Indonesia is a country that is repeatedly impacted by natural disasters such as earthquakes, landslides, tsunamis, floods and the eruption of Mount Merapi. Landslides are one of the most frequent disasters. Technology improvements make it possible to monitor landslides using Ground-Based Synthetic Aperture Radar (GB-SAR). The research purpose is to produce the formulations and parameters of the GB-SAR system as well as application program. In this works, a theoretical analysis was performed on SAR sensors to monitor landslides in the target area. The application was designed by paying attention to all GB-SAR parameters, such as target area slope, sensor distance, operating frequency, antenna gain, antenna moving speed, azimuth beam width, and various other parameters. The application program and all the calculation processes were developed using MATLAB. Research result shows the formulation and application program can estimate all the parameters that can be implemented to design a GB-SAR system. In conclusion, the design of the GB-SAR sensor can be easily carried out in meet with the target area conditions whereby the sensor is mounted.

Keywords: GB-SAR parameters, Application Program, Landslide Monitoring

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang cukup sering dilanda oleh bencana alam baik berupa gempa bumi, longsor, tsunami, banjir maupun erupsi gunung merapi. Longsor merupakan salah satu bencana alam yang paling sering terjadi. Perkembangan teknologi memungkinkan melakukan *monitoring* terhadap bencana longsor dengan menggunakan *Ground-Based Synthetic Aperture Radar* (GB-SAR). Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan formulasi dan parameter sistem GB-SAR serta program aplikasi untuk menghitung parameter. Dalam penelitian ini dilakukan kajian teoritis tentang sensor SAR untuk monitoring longsor di area target. Aplikasi dikembangkan dengan memperhatikan semua parameter GB-SAR seperti kemiringan area target, jarak sensor, frekuensi kerja, gain antenna, kecepatan gerak *antenna*, lebar berkas *azimuth*, dan berbagai parameter lainnya. Program aplikasi dan semua proses perhitungan dikembangkan menggunakan Matlab. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa formulasi dan program aplikasi dapat menghitung semua parameter yang dapat digunakan untuk mengembangkan sistem GB-SAR. Dengan adanya aplikasi ini, maka pengembangan sensor GB-SAR dapat dengan mudah dilakukan sesuai dengan kondisi di lapangan sensor akan dipasang.

Kata kunci: Parameter GB-SAR, Program Aplikasi, Monitoring Longsor

© 2020 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

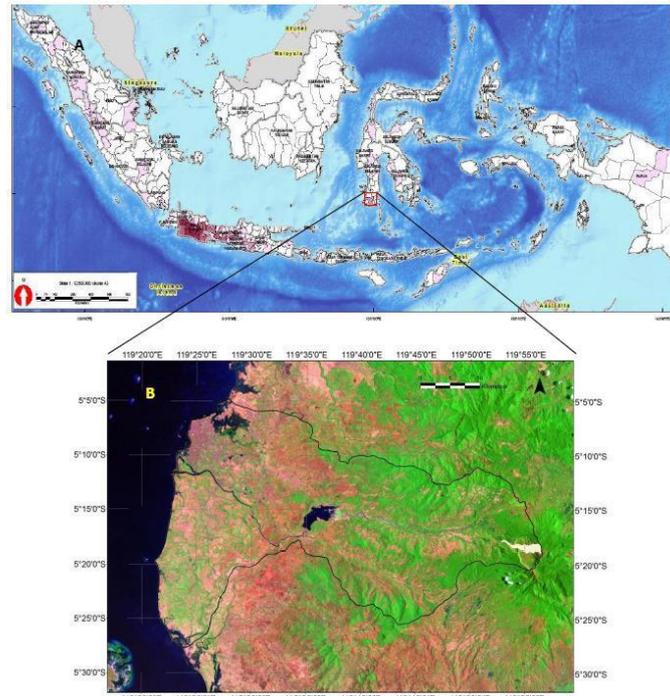


1. PENDAHULUAN

Struktur permukaan bumi Indonesia terdiri banyak gunung dan perbukitan. Indonesia memiliki tingkat curah hujan yang tinggi sehingga rentan terhadap bencana longsor (*Landslide*). Kerusakan hutan dan penebangan pohon secara ilegal juga ikut berkontribusi terhadap terjadinya bencana longsor. Kejadian bencana ini mengalami peningkatan dibanding satu dekade terakhir [1] dan menyebabkan banyak korban nyawa dan kerugian materi [2]. Selain menyebabkan korban nyawa,

longsor juga berpotensi untuk mengganggu jalur transportasi dan mengisolasi suatu daerah dengan daerah lain.

Longsor adalah suatu fenomena geologi yang terjadi berupa pergerakan tanah dalam rentang yang jauh. Umumnya dalam kejadian longsor didahului oleh suatu pemicu yang dapat berasal dari alam seperti gempa, hujan deras, atau dapat berasal dari aktivitas manusia. Pemicu ini menyebabkan terjadinya ketidakstabilan pada kemiringan (*slope*) permukaan suatu area. Beberapa kejadian fatal tentang bencana longsor di dunia sudah pernah dilaporkan [3]. Di Indonesia, bencana longsor sangat sering terjadi [4]. Salah satu contoh kejadian longsor yang cukup besar adalah di Jeneberang Sulawesi, pada tanggal 26 Maret 2004. Hasil penelitian terhadap bencana longsor ini sudah dilaporkan [5]. Sebaran kejadian bencana longsor di Indonesia dan kasus longsor di Jeneberang seperti terlihat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Sebaran kejadian bencana longsor di Indonesia

A. Sebaran kejadian longsor di wilayah Indonesia (Warna Pink, kejadian paling sering) dan B. kejadian longsor di Jeneberang Sulawesi [1].

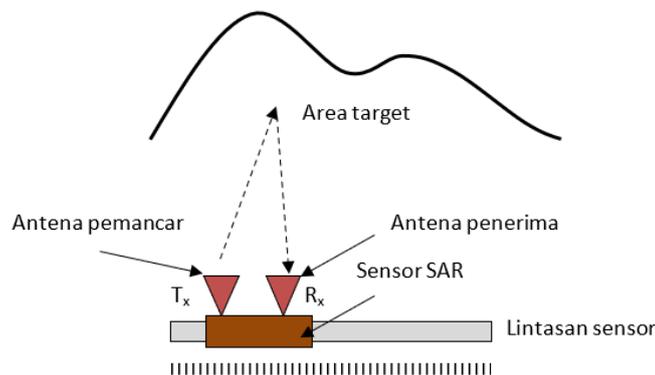
Usaha pencegahan dan penanggulangan bencana longsor ini terus dilakukan baik ditingkat pemerintah daerah maupun secara nasional. Namun keterbatasan informasi dan sulitnya mendeteksi bencana longsor secara dini menyebabkan penanganan bencana ini belum dapat dilakukan secara maksimal. Pengamatan dengan kasat mata terhadap bencana longsor sangat berbahaya dan biaya serta waktu yang dibutuhkan cukup lama. Bahkan untuk beberapa wilayah tertentu, pengamatan cukup berbahaya untuk dilakukan. Dengan demikian, sebuah sistem yang dapat memantau pergerakan tanah secara terus menerus dapat menjadi solusi dalam mendeteksi dini bencana longsor.

Untuk melakukan kegiatan pemantauan atau monitoring suatu wilayah dari jarak jauh dapat dilakukan dengan teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*). Ada dua sensor yang sering digunakan dalam teknologi penginderaan jauh yaitu sensor optik dan sensor radar. Sensor optik bekerja menggunakan cahaya tampak dan memerlukan sumber cahaya sehingga hanya dapat bekerja pada siang hari dan objek tidak terhalang oleh benda lain. Sementara itu, sensor radar merupakan sensor aktif yang mengiluminasi sendiri daerah yang akan diamati dan tidak memerlukan cahaya matahari. Dengan demikian, sensor berbasis radar dapat bekerja baik siang maupun pada malam hari. Di samping itu, pada frekuensi yang lebih rendah, sensor radar dapat menembus awan bahkan kanopi dari pohon.

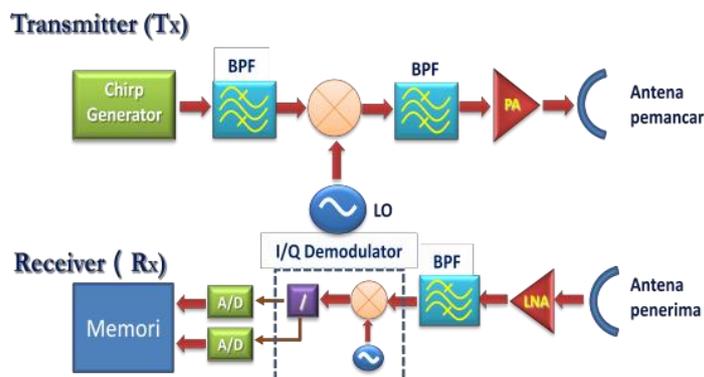
Penggunaan teknologi radar selama ini dalam bencana longsor dilakukan untuk mengukur luas daerah dampak bencana dan besarnya perpindahan tanah setelah terjadinya bencana [6]. Hal ini tentu hanya akan berdampak pada kebijakan dimasa yang akan datang namun tidak dapat menghindari terjadinya korban atau kerugian dari bencana. Di sisi lain, selama ini data radar yang digunakan berasal dari satelit yang tidak dapat merekam secara terus menerus pada suatu wilayah yang menjadi pusat perhatian. Hal ini tentu tidak dapat digunakan sebagai alat untuk deteksi dini bencana longsor. Untuk itu, perlu dikembangkan suatu sistem yang dapat melakukan pengamatan secara terus menerus di wilayah yang rawan terhadap bencana longsor.

Salah satu inovasi teknologi dalam radar yang dapat dikembangkan adalah dengan menerapkan teknik *Synthetic Aperture Radar* (SAR) yang dipasang langsung di daerah rawan bencana (*Ground-Based*) [7]. GB-SAR ini menggunakan teknik yang sama dengan *Satellite-Based SAR*, namun gambar pada GB-SAR dibentuk dengan pergerakan radar yang berjarak ratusan meter atau beberapa kilometer dari area yang menjadi target [2]. Kelebihan sistem GB-SAR adalah dapat digunakan untuk melakukan pengamatan pada target area secara terus-menerus dalam berbagai kondisi cuaca. Informasi dari gambar yang dihasilkan dapat digunakan untuk memberikan peringatan dini akan terjadinya bencana longsor.

Sensor GB-SAR bekerja seperti sensor SAR pada umumnya. Perbedaan mendasar adalah GB-SAR dipasang permanen pada suatu posisi dan sensor bergerak sepanjang lintasan yang dibuat. Gambar 2 menampilkan ilustrasi sensor GB-SAR. Sensor GB-SAR bekerja dengan cara memancarkan gelombang elektromagnetik menuju target area yang akan diamati dan menangkap sinyal pantulan dari target. Ketika membuat suatu gambar, sensor SAR harus bergerak sepanjang lintasan sambil menembakkan dan menangkap pantulan setiap berubah posisi dalam lintasan. Data sinyal pantulan kemudian disimpan dan diproses untuk menghasilkan gambar. Untuk pemancaran dan penerimaan sinyal dalam sensor GB-SAR diperlukan beberapa komponen pengolah sinyal seperti terlihat dalam Gambar 3.



Gambar 2. Ilustrasi prinsip kerja dari sistem GB-SAR



Gambar 3. Blok sistem sensor GB-SAR

Dalam mendesain sebuah sensor GB-SAR, kondisi suatu daerah dan tempat sensor akan dipasang sangat penting untuk diketahui. Dengan demikian perhitungan parameter SAR dan desain dari alat yang akan dikembangkan perlu dikaji sehingga diperoleh parameter kunci untuk mengembangkan sensor GB-SAR yang sesuai dengan kebutuhan. Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan formulasi dan parameter sistem GB-SAR serta program aplikasi untuk menghitung parameter. Dalam penelitian ini dilakukan kajian teoritis tentang sensor SAR untuk monitoring longsor di area target, khususnya untuk daerah Sumatera Barat dan Makasar.

2. METODE PENELITIAN

Untuk menghasilkan formulasi dan parameter sistem GB-SAR serta program aplikasi, dalam penelitian ini akan digunakan beberapa metode yaitu studi literatur, survey lapangan, penyusunan formulasi kajian teori dan pembuatan program aplikasi. Secara sederhana penjelasan tiap tahapan metode penelitian ini adalah sebagai berikut.

2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk penelusuran pustaka melalui beberapa jurnal yang relevan dan buku-buku yang menunjang terhadap kajian GB-SAR. Melalui studi literatur ini dapat ditentukan parameter yang harus diperhitungkan dalam mengembangkan sensor GB-SAR. Dalam studi ini juga dikaji kaitan antar parameter sehingga dapat ditentukan kondisi optimum yang dapat diperoleh untuk sensor GB-SAR.

2.2 Survey dan pengukuran lapangan

Untuk membuat formulasi dan kajian teoritis tentang sistem GB-SAR, maka perlu dilakukan survey dan pengukuran di lapangan yang menjadi target area. Survey dan pengukuran di lapangan ini dapat memberikan beberapa informasi penting diantaranya adalah pengukuran jarak area target terhadap posisi sensor GB-SAR yang memungkinkan.

2.3 Penyusunan formulasi dan kajian teori

Merumuskan kajian teori dan membuat formulasi berdasarkan hasil survey yang telah dilakukan. Pada tahap ini akan dilakukan beberapa kegiatan yaitu Mendapatkan formulasi GB-SAR untuk aplikasi pendeteksi dini bencana longsor. Mengekstrak parameter kunci berdasarkan kajian teoritis dan mengamati hubungan antara parameter untuk menghasilkan optimum dan pertimbangan lain dalam mengembangkan sensor GB-SAR.

2.4 Pembuatan program aplikasi

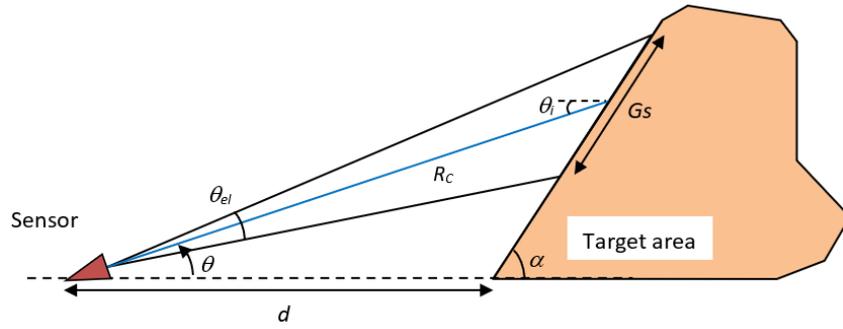
Pembuatan program aplikasi ditujukan untuk mempermudah perhitungan semua parameter GB-SAR. Dalam program aplikasi ini semua parameter yang dibutuhkan dihitung dengan cepat dengan memasukkan beberapa parameter kunci yang ditentukan oleh data lapangan dan keinginan dari perancang. Pada tahap ini akan dilakukan beberapa kegiatan yaitu merancang bentuk tampilan dan menu yang dibutuhkan dalam program aplikasi, menentukan parameter masukan dan keluaran, dan memasukkan persamaan yang telah dirumuskan dalam kajian teoritis ke dalam program aplikasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

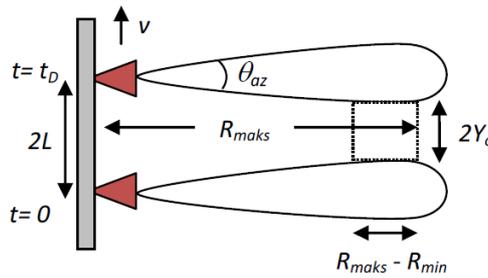
3.1. Formulasi Geometri GB-SAR

Dalam melakukan perhitungan geometri sensor GB-SAR, parameter geometri dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 4 untuk *slant range* dan Gambar 5 untuk *cross range*. Berdasarkan geometri dari sensor GB-SAR dapat diturunkan beberapa parameter. Dengan mengasumsikan jarak sensor ke target jauh lebih kecil dari jari-jari bumi maka sudut datang (*incidence angle*, θ_i)

$$\theta_i = \sin^{-1} \left(\sin \theta \frac{R_e + h}{R_e} \right) \approx \theta \quad (1)$$

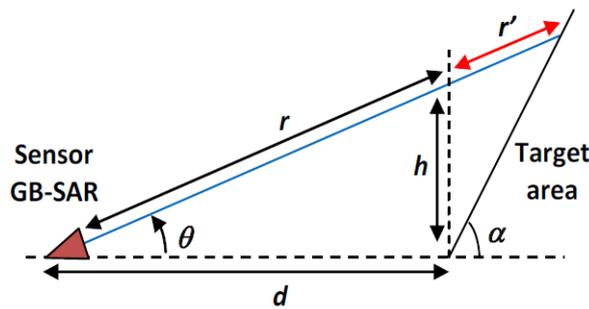


Gambar 4. Slant Range Geometri



Gambar 5. Cross Range Geometri

Berdasarkan Gambar 4 dapat diuraikan geometri secara lebih rinci untuk menentukan jarak *slant* (*slant range*, R_C).



Gambar 6. Geometri Slant Range

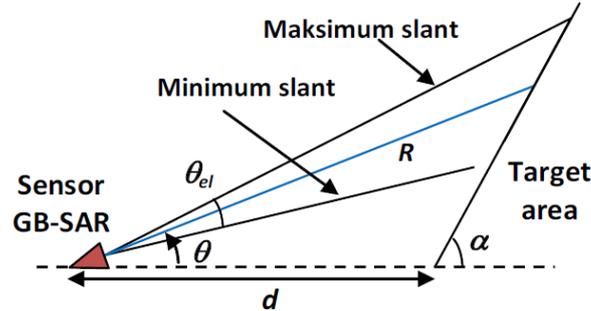
Dalam Gambar 6 dapat dijelaskan d adalah jarak sensor ke kaki bukit yang menjadi area target, θ merupakan sudut pandang (*look angle*) dan α sudut kemiringan dari bukit area target. Dari gambar terlihat *slant range* $R_C = r + r'$, dimana besarnya r dan r' dapat diturunkan menggunakan rumus geometri. Berdasarkan analisis geometri pusat *slant range* diperoleh

$$R_C = r + r' \tag{2}$$

$$R_C = \frac{d}{\cos \theta} + \frac{\cos \alpha}{\sin(\alpha - \theta)} d \tan \theta \tag{3}$$

Dari persamaan terlihat bahwa *slant range* ditentukan oleh jarak sensor ke area target (d), sudut pandang (*look angle*, θ) dan sudut kemiringan target area (α).

Untuk mendapatkan besarnya *slant range* minimum dan minimum dapat diperhatikan Gambar 7. Untuk maksimum *slant range* dapat dirumuskan dengan penambahan sudut θ sebesar $\theta_{el}/2$ dan nilai maksimum diperoleh seperti pada Persamaan (4). Dengan cara yang sama, minimum *slant range* dari sensor GB-SAR dapat dirumuskan dengan mengurangi sudut θ sebesar $\theta_{el}/2$ seperti ditunjukkan dalam Persamaan (5).

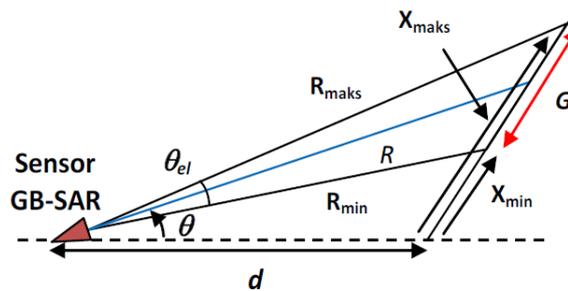


Gambar 7. Maksimum dan Minimum *Slant Range*

$$R_{maks} = \frac{d}{\cos\left(\theta + \frac{\theta_{el}}{2}\right)} + \frac{\cos \alpha}{\sin\left(\alpha - \theta - \frac{\theta_{el}}{2}\right)} d \tan\left(\theta + \frac{\theta_{el}}{2}\right) \quad (4)$$

$$R_{min} = \frac{d}{\cos\left(\theta - \frac{\theta_{el}}{2}\right)} + \frac{\cos \alpha}{\sin\left(\alpha - \theta + \frac{\theta_{el}}{2}\right)} d \tan\left(\theta - \frac{\theta_{el}}{2}\right) \quad (5)$$

Untuk menghitung lebar *swath* (G) yang terbentuk dari pancaran berkas radar dapat dihitung menggunakan geometri seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Lebar *Ground Swath*

Berdasarkan Gambar 8, lebar *ground swath* dapat dihitung sebagai selisih dari nilai X_{maks} dengan X_{min} . Dengan demikian persamaan lebar *ground swath* adalah

$$G = \sqrt{R_{maks}^2 + d^2 - 2R_{maks}d \cos\left(\theta + \frac{\theta_{el}}{2}\right)} - \sqrt{R_{min}^2 + d^2 - 2R_{min}d \cos\left(\theta + \frac{\theta_{el}}{2}\right)} \quad (5)$$

Panjang *synthetic aperture* pada R_c dapat ditentukan menggunakan geometri *cross range*. Berdasarkan Gambar 5, panjang *synthetic aperture* (L_{syn}) adalah

$$L_{syn} = 2R_c \tan(\theta_{az}/2) \approx R_c \theta_{az} \quad (7)$$

Lebar berkas (*Beamwidth*) *synthetic* dari antenna dapat dirumuskan dengan

$$\beta_s \approx \frac{\lambda}{2L_{syn}} \quad (8)$$

Sementara jarak total lintasan dari pergerakan antenna pemancar dan penerima

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

dan ukuran gambar yang dihasilkan oleh berkas radar dapat dihitung sebagai perkalian jarak azimuth total ($2Y_o$) dengan lebar *ground swath* (G) seperti pada Persamaan (10).

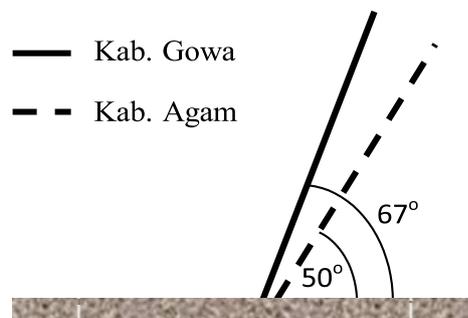
$$I_s = 2Y_o G_s \quad (10)$$

3.2. Survey Lapangan

Untuk menyesuaikan formulasi dan pengembangan program aplikasi dilakukan survey lapangan pada daerah rawan longsor yang akan dijadikan model dalam perhitungan parameter GB-SAR. Dalam penelitian ini survey lapangan dilakukan di dua tempat yaitu daerah Kabupaten Agam Sumatera Barat dan daerah Kabupaten Gowa Sulawesi Selatan. Berdasarkan data lapangan, telah diketahui derajat kemiringan dan tinggi bukit yang dijadikan model dalam perhitungan parameter GB-SAR. Gambar 9 menampilkan beberapa dokumentasi survey lapangan dan Gambar 10 menunjukkan data kemiringan dari lereng yang dijadikan model.



Gambar 9. Foto lokasi survey lapangan; a) Sungai Landia, Kecamatan Matur, Kabupaten Agam, Sumatera Barat dan b) Borisalo, Parang Lowe, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan

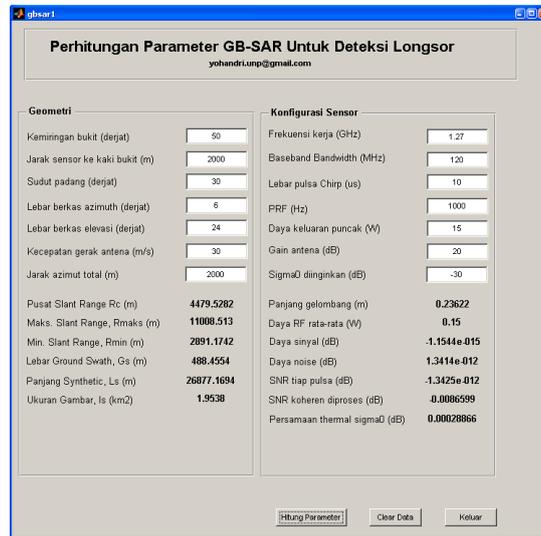


Gambar 10. Kemiringan Bukit

Berdasarkan hasil survey pada dua lokasi model diperoleh data geometri bukit di lapangan dan kondisi lapisan permukaan area target. Kemiringan sudut dari dua bukit model adalah 50° dan 67° untuk bukit di Kab. Agam dan Kab. Gowa seperti terlihat dalam Gambar 10. Sementara dua model ini lapisan penutup area target hampir tidak ada sehingga gelombang elektromagnetik dari sensor dapat langsung dipantulkan oleh lapisan permukaan tanah. Untuk kasus area yang dilapisi oleh tumbuhan maka sulit untuk mendeteksi pergerakan tanah karena banyak tumbuhan yang dapat mempengaruhi pantulan gelombang radar. Untuk daerah seperti ini dapat diatasi dengan memasang beberapa titik pemantul tetap (*corner reflector*) yang menjadi acuan kalau terjadi pergerakan.

3.3. Program Aplikasi

Pengembangan program aplikasi ditujukan untuk mempermudah dalam mendesain sistem dan perhitungan parameter yang dibutuhkan dalam mengembangkan sensor GB-SAR. Dalam program ini terdapat beberapa bagian yang dapat dihitung yaitu bagian geometri GB-SAR, konfigurasi sensor, parameter *Doppler*, parameter pengolahan sinyal dan kualitas gambar. Dalam artikel ini hanya ditampilkan program aplikasi untuk menghitung geometri dan konfigurasi sensor. Gambar 11 merupakan program aplikasi hasil pengembangan.



Gambar 11. Tampilan program aplikasi GB-SAR

Untuk melakukan perhitungan pada program aplikasi ini diperlukan beberapa parameter lain sebagai informasi masukan. Untuk perhitungan geometri GB-SAR parameter masukan seperti dalam Tabel 1. Sementara untuk perhitungan konfigurasi sensor parameter masukan terlihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Parameter Masukan Geometri GB-SAR

No	Parameter yang ditentukan	Lambang	Satuan
1	Jarak sensor ke target	d	m
2	Kecepatan perpindahan sensor	v	m/s
3	Kemiringan bukit	α	derajat
4	Sudut pandang	θ	derajat
5	<i>Azimuth beamwidth</i>	θ_{az}	derajat
6	<i>Elevation beamwidth</i>	θ_{el}	derajat
7	Jarak azimuth total	$2Y_o$	m

Tabel 2. Parameter Masukan Konfigurasi Sensor

No	Parameter yang ditentukan	Lambang	Satuan
1	Frekuensi kerja	f_c	GHz
2	Baseband bandwidth	B	MHz
3	Chirp pulsewidth	τ_p	μs
4	PRF	PRF	Hz
5	Power keluaran puncak	P_t	W
6	Gain antena	G	dB

Berdasarkan hasil formulasi dan pengembangan aplikasi ini, parameter GB-SAR dapat diperoleh dengan cepat dan akurat. Hasil ini sesuai dengan perhitungan teoritis pada konsep synthetic aperture radar secara umum (Moreira et al., 2013). Selanjutnya, parameter ini dapat dijadikan dasar dalam mengembangkan sistem, pembelian perangkat dan penempatan sensor di lapangan. Untuk menggunakan aplikasi ini, pengguna harus memasukkan data yang dibutuhkan seperti yang sudah tertulis dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dikerjakan maka dapat terlihat bahwa formulasi dan parameter sistem GB-SAR serta pengembangan program aplikasi untuk menghitung parameter sudah dapat berhasil dilakukan. Semua parameter GB-SAR yang telah dirumuskan dibuat dalam bentuk program aplikasi dapat menghitung secara otomatis semua besaran yang diperlukan dalam merancang sensor GB-SAR untuk aplikasi deteksi dini longsor. Dengan menggunakan aplikasi ini, perancang dapat dengan mudah menghitung parameter GB-SAR sesuai dengan kondisi yang ada di lapangan.

REFERENSI

- [1] PNPB, & UNDP. *Data dan Informasi Bencana Indonesia*. 2015. Retrieved from <https://bnpb.go.id/uploads/migration/pubs/446.pdf>
- [2] Alimuddin, I., Bayuaji, L., Maddi, H. C., Sri Sumantyo, J. T., & Kuze, H. *Developing Tropical Landslide Susceptibility Map Using DINSAR Technique of JERS-1 SAR Data*. 2013. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*. <https://doi.org/10.30536/ijreses.2011.v8.a1739>
- [3] Froude, M. J., & Petley, D. N. *Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016*. 2018. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2161-2018>
- [4] Karnawati, D., Fathani, T. F., Andayani, B., Burton, P. W., & Sudarno, I. *Strategic program for landslide disaster risk reduction: A lesson learned from Central Java, Indonesia*. 2009. *WIT Transactions on the Built Environment*. <https://doi.org/10.2495/DMAN090121>
- [5] Solle, M. S., & Ahmad, A. *Landslides intensity on river morphology of Jeneberang watershed after collapse of caldera wall at Mt. Bawakaraeng*. 2016. *Research Journal of Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3923/rjasci.2016.874.878>
- [6] Tsuchiya, S., Sasahara, K., Shuin, S., & Ozono, S. *The large-scale landslide on the flank of caldera in South Sulawesi, Indonesia*. 2009. *Landslides*. <https://doi.org/10.1007/s10346-009-0143-x>
- [7] Strozzi, T., Farina, P., Corsini, A., Ambrosi, C., Thüring, M., Zilger, J., ... Werner, C. *Survey and monitoring of landslide displacements by means of L-band satellite SAR interferometry*. 2005. *Landslides*. <https://doi.org/10.1007/s10346-005-0003-2>
- [8] Yohandri, Setiadi, B., Chan, Y. K., & Koo, V. C. *A ground-based synthetic aperture radar system using portable VNA for landslide monitoring*. 2017. *International Symposium on Antennas and Propagation, ISAP 2017*. <https://doi.org/10.1109/ISANP.2017.8228785>
- [9] Antonello, G., Casagli, N., Farina, P., Leva, D., Nico, G., Sieber, A. J., & Tarchi, D. *Ground-based SAR interferometry for monitoring mass movements*. 2004. *Landslides*. <https://doi.org/10.1007/s10346-003-0009-6>
- [10] Monserrat, O., Crosetto, M., & Luzi, G. *A review of ground-based SAR interferometry for deformation measurement*. 2014. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.04.001>
- [11] Moreira, A., Prats-Iraola, P., Younis, M., Krieger, G., Hajnsek, I., & Papathanassiou, K. P. *A tutorial on synthetic aperture radar*. 2013. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2013.2248301>