

PERBANDINGAN HASIL PEMODELAN BAHAYA BANJIR ROB DI JAKARTA MENGGUNAKAN DEMNAS, DEM GLOBAL, DAN DEM LIDAR

Firman Juliandri^{1*}, Heri Andreas¹, Dhota Pradipta¹

1. Kelompok Keahlian Geodesi, Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung (ITB), Jl. Ganesha No.10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

* Correspondence: firman.juliandri@gmail.com

Sari – Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek akurasi DEM terhadap hasil pemodelan bahaya banjir rob di Jakarta dengan membandingkan hasil pemodelan menggunakan beberapa data DEM yang memiliki variasi akurasi. Model berbasis DEM LiDAR yang memiliki akurasi tinggi dijadikan *baseline* untuk pengukuran akurasi model lainnya. Pemodelan dengan DEMNAS menghasilkan luas area tergenang yang mendekati model DEM LiDAR dengan rasio perbandingan sebesar 97%. Pemodelan DEM global (*open access*), terdiri dari DEM SRTM (30 m), DEM TanDEM-X (60 m), dan DEM AW3D (30 m), menghasilkan luas area tergenang yang memiliki variasi antara 5% - 48% dari model DEM LiDAR. Pemodelan menunjukkan korelasi positif antara akurasi vertikal dan resolusi spasial DEM dengan akurasi produk model bahaya banjir rob di Jakarta. Perbandingan antar model secara lebih lanjut dilakukan untuk mendapatkan efek akurasi model terhadap hasil penilaian risiko bencana banjir rob. Penggunaan model DEM global yang berakurasi rendah menghasilkan nilai risiko jumlah penduduk terpapar sebesar 2,2 - 54,0 kali lebih rendah, serta nilai risiko kerugian ekonomi sebesar 1,9 - 37,6 lebih rendah dibandingkan penilaian risiko menggunakan model berbasis DEM LiDAR.

Kata kunci: DEM, Jakarta, pemodelan banjir rob, penilaian risiko.

Abstract - *The research aims to analyze the effect of DEM's accuracy in regard with the results of tidal flood hazard modeling in Jakarta by comparing the modeling results from several DEM data that have different accuracy. The high-accuracy DEM LiDAR model was used as a baseline to measure the accuracy between models. The DEMNAS-based model exhibits the result in the flooded area closest to the DEM LiDAR-based model with a ratio of 97%. The open-access Model, such as DEM SRTM (30 m), DEM TanDEM-X (60 m), and DEM AW3D (30 m), shows a flooded area ratio about 5% - 48% with respect to DEM LiDAR-based model. The comparison between the model indicated a positive correlation between the vertical accuracy and spatial resolution of DEM with the accuracy of the tidal flood hazard model in Jakarta. Furthermore, the comparisons between these models have been carried out to analyze the effect of model accuracy in regard to the results of the tidal flood risk assessment. The effect of low-accuracy DEM-based model exhibit the number of exposed populations about 2.2 - 54.0 and value of economic loss about 1.9 - 37.6 less times than the risk assessment using DEM LiDAR-based model.*

Key words: DEM, Jakarta, tidal-flood modeling, risk assessment.

1. PENDAHULUAN

Wilayah pesisir di utara Jakarta yang berhadapan langsung dengan Laut Jawa seringkali dilanda banjir rob (Abidin dkk., 2011). Banjir rob (*tidal flood*) disebabkan oleh mengalirnya air laut ke daratan di wilayah pesisir terutama pada saat air laut pasang (Marfai, 2004). Area yang tergenang banjir rob di Jakarta setiap tahun semakin bertambah luas, yang terutama disebabkan oleh adanya penurunan muka tanah (Abidin dkk., 2011; Andreas dkk., 2017). Penurunan muka tanah di Jakarta memiliki laju yang cukup tinggi, yaitu secara umum sebesar 1 - 15 cm/tahun, dan pada beberapa tempat dan periode tertentu dapat

mencapai hingga 20 - 28 cm/tahun (Abidin dkk., 2011).

Banjir rob di Jakarta dapat menimbulkan kerugian yang cukup besar. Ward dkk. (2011) mengestimasi besarnya nilai aset yang tergenang oleh banjir rob di Jakarta dapat mencapai hingga €4 miliar (sekitar Rp 68,7 triliun dengan kurs di tahun 2021). Besarnya angka tersebut dikarenakan dari total luas area tergenang seluas 3.400 Ha, sekitar 65% merupakan area bisnis dan permukiman yang memiliki nilai aset lahan yang cukup tinggi.

Potensi kerugian akibat bencana banjir rob di Jakarta dapat dikurangi dengan melakukan upaya adaptasi dan mitigasi, yaitu di antaranya dengan membangun tanggul laut, meninggikan jalan dan jembatan, memperbaiki drainase, dan membangun *giant sea wall* (Andreas dkk., 2018). Penyusunan strategi yang tepat di dalam manajemen bencana banjir rob memerlukan penilaian risiko yang tepat berdasarkan model bahaya banjir rob yang akurat (Minderhoud dkk., 2019). Berdasarkan model tersebut dapat dilakukan penilaian risiko populasi penduduk terpapar beserta risiko kerugian ekonomi akibat banjir rob (Andreas dkk., 2017; Ward dkk., 2011).

Di dalam pemodelan bahaya banjir rob penggunaan data topografi dalam bentuk DEM merupakan hal yang sangat fundamental, dikarenakan akurasi model bahaya banjir rob sangat ditentukan oleh akurasi vertikal DEM (Kulp dan Strauss, 2016; Minderhoud dkk., 2019; Schumann dkk., 2008). Selain itu, datum vertikal yang dipergunakan untuk penentuan tinggi relatif DEM juga dapat memengaruhi akurasi dari produk model bahaya banjir rob (Minderhoud dkk., 2019). Sebagai contoh, pemodelan bahaya banjir rob dengan menggunakan data DEM global dari *spaceborne*, seperti *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) dan *TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurements* (TanDEM-X), akan menghasilkan model dengan akurasi yang rendah (Kulp dan Strauss, 2016; Minderhoud dkk., 2019; Schumann dkk., 2008). Hal itu dikarenakan DEM global memiliki akurasi vertikal yang rendah, yaitu pada level beberapa meter (Minderhoud dkk., 2019).

Saat ini terdapat beberapa pemodelan bahaya banjir rob di Jakarta yang menggunakan DEM dari sumber yang berbeda-beda dan dengan tingkat akurasi DEM yang berbeda-beda pula. Di antaranya yaitu Andreas dkk. (2017) yang menggunakan DEM *Light Detection and Ranging* (LiDAR), Takagi dkk. (2016) yang menggunakan DEM SRTM dengan resolusi 90 m, Latief dkk. (2018) yang menggunakan DEM Nasional (DEMNAS), dan Ward dkk. (2011) yang menggunakan DEM hasil ekstraksi dari peta topografi Badan Informasi

Geospasial (BIG) dengan skala 1:25.000. Di antara model-model tersebut terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Takagi dkk. (2016) memproyeksikan penambahan luas area genangan pada periode 2025 - 2050 seluas 84,8 km², sementara Andreas dkk. (2018) memproyeksikan penambahan luas area genangan pada periode tersebut sebesar 8,75% dari wilayah Jakarta, atau sekitar 57,2 km². Latief dkk. (2018) memproyeksikan luas area genangan pada tahun 2040 yang mencapai 139,5 km², sementara hasil proyeksi luas area genangan dari Andreas dkk. (2018) di tahun 2025 saja sudah mencapai 26,86% dari wilayah Jakarta, atau sekitar 175,6 km².

Dikarenakan adanya perbedaan hasil pemodelan yang cukup signifikan di antara penelitian-penelitian tersebut, maka perlu dianalisis dampak penggunaan DEM dengan tingkat akurasi yang berbeda-beda terhadap akurasi produk model bahaya banjir rob di Jakarta. Hal itu dapat dilakukan dengan cara melakukan simulasi pemodelan menggunakan beberapa data DEM dengan tingkat akurasi yang berbeda-beda. Model yang dibuat menggunakan DEM berakurasi tinggi dijadikan *baseline* untuk mengukur akurasi produk model lainnya (Hawker dkk., 2018; Kulp dan Strauss, 2016; Sanders, 2007; Schumann dkk., 2008; Minderhoud dkk., 2019; Ogania dkk., 2019). Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini bertujuan: (a) melakukan simulasi pemodelan bahaya banjir rob di Jakarta menggunakan beberapa data DEM dengan tingkat akurasi yang berbeda-beda, dan (b) membandingkan hasil pemodelan berupa luas area tergenang di antara masing-masing model, serta membandingkan hasil penilaian risiko jumlah penduduk terpapar dan kerugian ekonomi berdasarkan model-model tersebut.

2. DATA DAN METODOLOGI

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah DEMNAS dan DEM global (terdiri dari DEM SRTM 30 m, DEM TanDEM-X 90 m, DEM AW3D30) yang dapat diakses secara terbuka (*open access*), serta DEM LiDAR yang diperoleh dari Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika ITB, yang akuisisi data

topografinya dilakukan pada tahun 2010. DEMNAS dan DEM global, masing-masing memiliki resolusi horizontal dan akurasi vertikal yang berbeda-beda yang disebabkan adanya perbedaan instrumen serta metode yang digunakan di dalam akuisisi data. DEM LiDAR yang diperoleh dari hasil survei *airborne*, memiliki akurasi dan resolusi spasial paling tinggi dibanding DEM lainnya. Pada **Tabel 1** diperlihatkan resolusi spasial dan akurasi vertikal dari masing-masing DEM yang digunakan pada penelitian.

Selain data utama, pada penelitian ini diperlukan data pendukung, yaitu di antaranya peta penurunan muka tanah, peta populasi penduduk, dan peta penggunaan lahan. Peta penurunan muka tanah dihasilkan dari pengolahan data sebaran titik-titik penurunan muka tanah di Jakarta yang diperoleh dari Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika ITB. Peta tersebut diperlukan untuk menentukan besarnya laju penurunan muka tanah pada setiap unit piksel DEM, yang terjadi dalam rentang waktu tertentu. Peta populasi penduduk dan peta penggunaan lahan, masing-masing diperlukan untuk penilaian risiko bencana banjir rob. Peta proyeksi populasi penduduk tahun 2020 diperoleh dari WorldPop (www.worldpop.org), sementara peta penggunaan lahan tahun 2009 diperoleh dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Provinsi DKI Jakarta.

Masing-masing data DEM digunakan sebagai basis di dalam pemodelan bahaya banjir rob, sehingga dapat dilakukan perbandingan antara model berbasis DEM yang satu dengan lainnya. Model berbasis DEM LiDAR yang berakurasi tinggi dijadikan sebagai *baseline* untuk pengukuran akurasi model berbasis DEM lainnya. Perbandingan antar produk model dilakukan secara lebih lanjut, yaitu dengan membandingkan hasil penilaian risiko jumlah penduduk terpapar banjir rob beserta nilai kerugian ekonomi akibat banjir rob

berdasarkan masing-masing produk model tersebut. Tujuan perbandingan hasil penilaian risiko adalah untuk mengetahui efek akurasi produk model terhadap akurasi penilaian risiko.

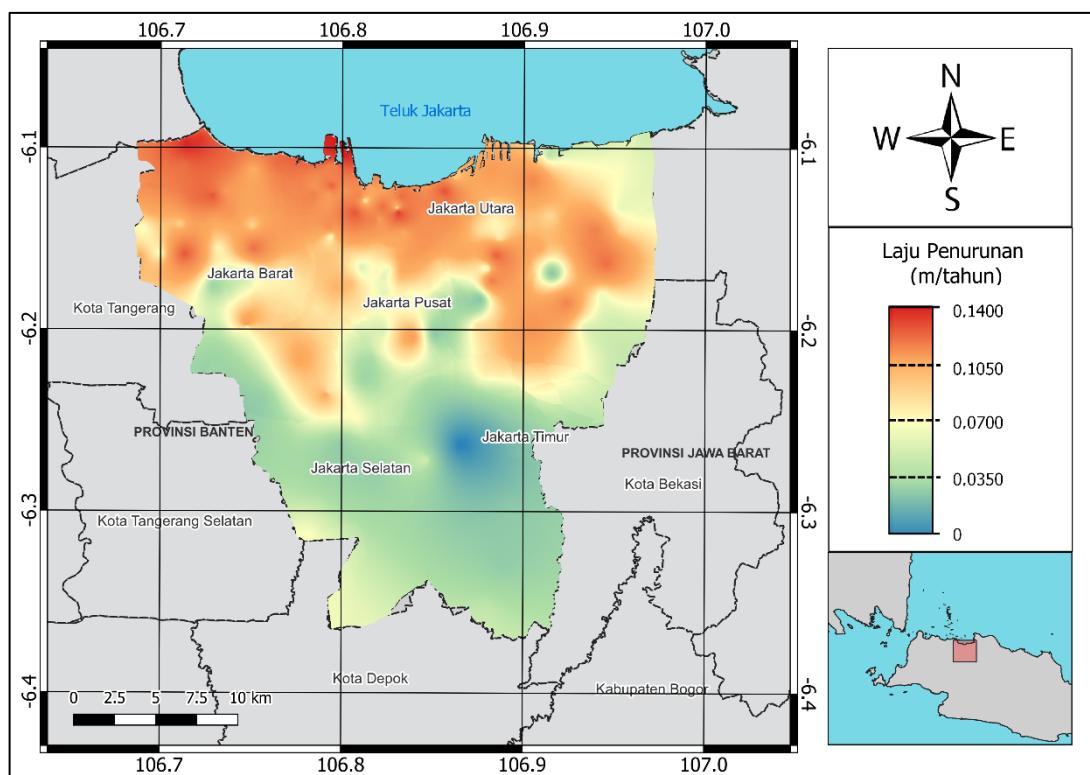
Berdasarkan uraian di atas, maka terdapat dua pendekatan yang digunakan untuk menganalisis efek akurasi DEM terhadap pemodelan bahaya banjir rob di Jakarta, yaitu:

1. Membandingkan akurasi produk model berbasiskan masing-masing DEM global (DEM SRTM, DEM TanDEM-X, DEM AW3D30) serta DEMNAS, dengan produk model berbasiskan DEM LiDAR. Di dalam pemodelan, kondisi topografi DEMNAS dan DEM global terlebih dahulu dikembalikan/diproyeksikan ke tahun 2010 menggunakan peta penurunan muka tanah (**Gambar 1**). Hal itu dikarenakan DEM LiDAR yang digunakan sebagai *baseline* bagi pengukuran akurasi model lainnya diakuisisi pada tahun 2010.
2. Membandingkan hasil penilaian risiko jumlah penduduk terpapar dan kerugian ekonomi antara menggunakan model berbasis DEMNAS dan berbasis DEM global dengan model berbasis DEM LiDAR. Penilaian risiko jumlah penduduk terpapar dilakukan dengan menampalkan masing-masing produk model bahaya banjir rob dengan peta populasi penduduk, sementara penilaian risiko kerugian ekonomi dilakukan dengan menampalkan masing-masing produk model dengan peta penggunaan lahan.

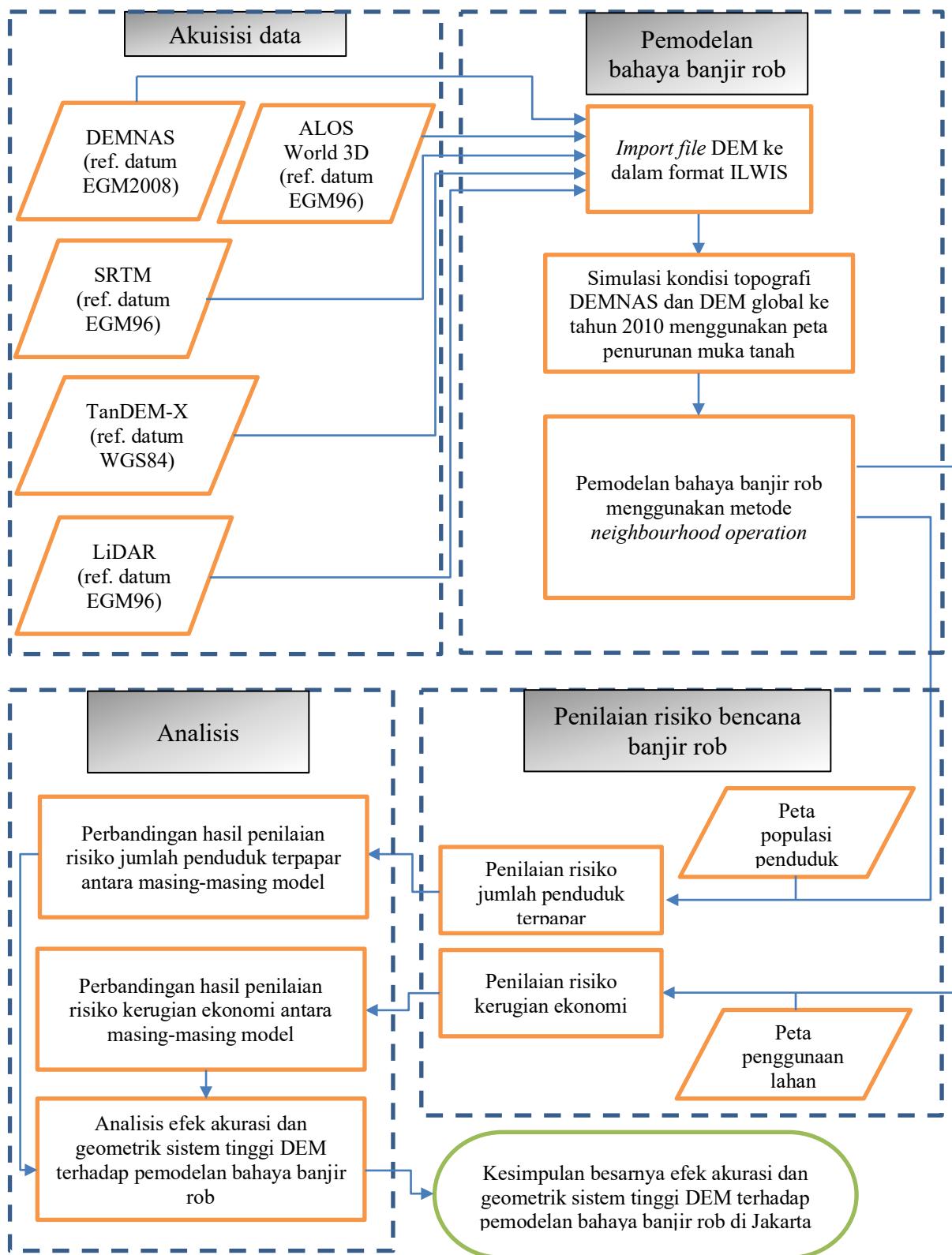
Tahapan pelaksanaan penelitian dengan menggunakan kedua pendekatan tersebut dapat dilihat pada diagram alir penelitian pada **Gambar 2**. Metode yang digunakan untuk pemodelan bahaya banjir rob dan penilaian risiko bencana banjir rob akan dijelaskan pada bagian berikut.

Tabel 1. Resolusi spasial dan akurasi vertikal masing-masing DEM.

DEM	Referensi Datum Vertikal	Resolusi spasial (m)	Akurasi vertikal (RMSE) (m)	Referensi
DEMNAS	EGM2008	8	1,11	Sulistiana dkk. (2019)
DEM SRTM	EGM96	30	6,20	Farr dkk. (2007)
DEM TanDEM-X	WGS84	90	1,05	Wessel dkk. (2019)
DEM AW3D30	EGM96	30	5,68	Santillan dan Makinano-Santillan (2016)
DEM LiDAR	EGM96	2	0,05 – 0,20	Sanders (2007)



Gambar 1. Peta penurunan muka tanah di Jakarta untuk periode sampai dengan tahun 2015 (hasil pengolahan data dari Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika ITB, 2021).



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

2.1 Pemodelan bahaya banjir rob

Pemodelan bahaya banjir rob pada penelitian ini dilakukan menggunakan *neighbourhood operation* pada perangkat lunak ILWIS, sebagaimana dilakukan oleh Marfai dan King (2007) dan Ward dkk. (2011). Prinsip dari metode tersebut adalah bahwa banjir rob akan menggenangi piksel yang menjadi pusat dari *neighbourhood* apabila piksel tersebut dan sekurang-kurangnya satu piksel “tetangga” memiliki elevasi lebih rendah dari elevasi muka air laut. Banjir rob disimulasikan dimulai dari titik-titik awal di sepanjang garis pantai, dan selanjutnya menggenangi daratan yang memiliki elevasi lebih rendah dari elevasi muka air laut. Proses *neighbourhood operation* dilakukan secara iterasi hingga tidak terjadi lagi perubahan hasil penentuan area tergenang banjir rob. Nilai elevasi muka air laut (h) yang digunakan di dalam penelitian ini adalah sama dengan elevasi datum pasang surut HAT (*Highest Astronomical Tide*), yaitu $h = 1,67$ m. Nilai tersebut diperoleh dari Latief dkk. (2018) setelah ditransformasi ke datum EGM2008 (*Earth Gravitational Model 2008*).

2.2 Penilaian risiko bencana banjir rob

Penilaian risiko bencana banjir rob pada penelitian ini dilakukan terhadap dua elemen berisiko terpapar (*element at risk*), yaitu populasi penduduk dan aset lahan. Penilaian risiko jumlah penduduk terpapar dilakukan dengan menampalkan model bahaya banjir rob dengan peta populasi penduduk (**Gambar 3**). Penilaian risiko kerugian ekonomi pada aset lahan yang terpapar dilakukan dengan menampalkan model bahaya banjir rob dengan peta penggunaan lahan (**Gambar 4**). Risiko jumlah penduduk terpapar dan kerugian ekonomi selanjutnya dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (van Westen, 2016),

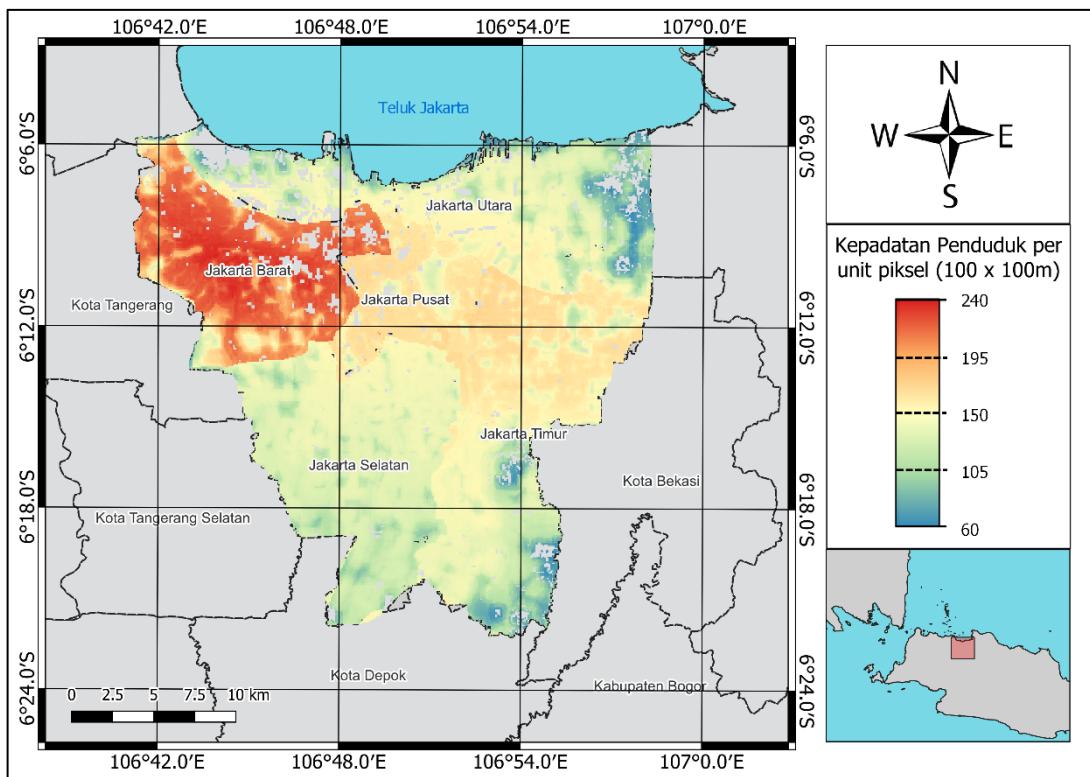
$$R_{population} = \sum_{n=1}^x A_n \quad (1)$$

$$R_{economic loss} = \sum_{n=1}^x A_{(C|n)} V_{(C|n)} \quad (2)$$

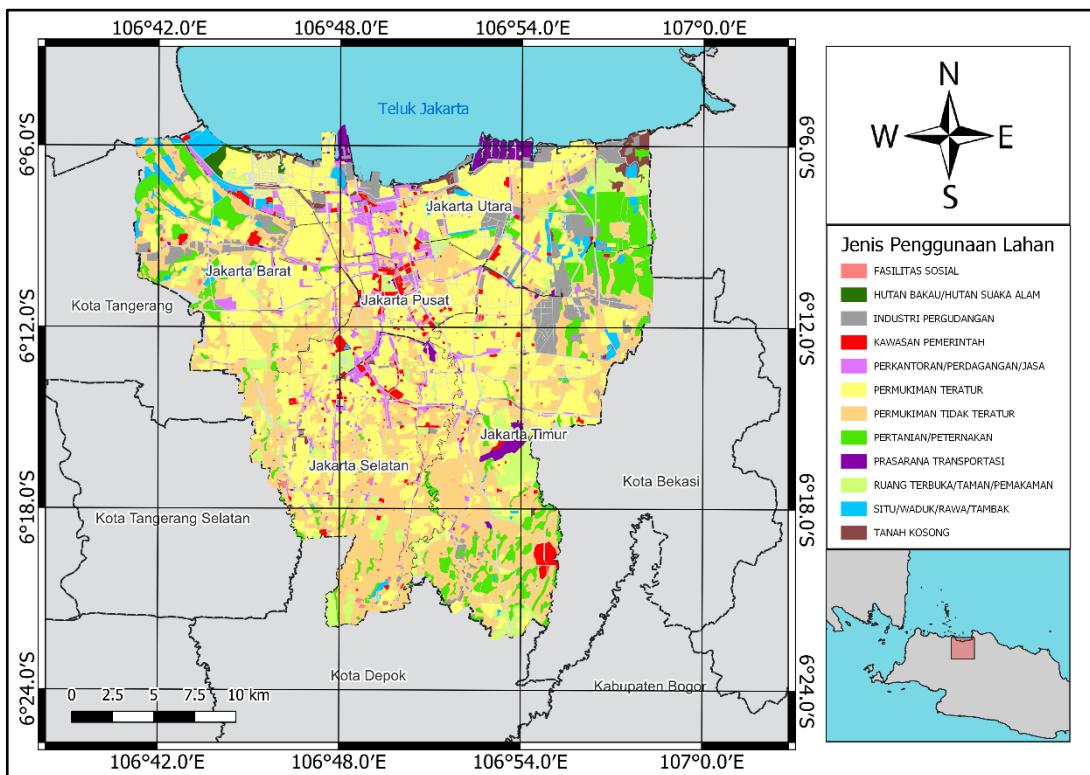
dengan:

$R_{population}$	= risiko jumlah penduduk terpapar
$R_{economic loss}$	= risiko nilai kerugian ekonomi
n	= nomor piksel tergenang pada model bahaya banjir rob
x	= total jumlah piksel tergenang pada model bahaya banjir rob
A_n	= jumlah penduduk per unit piksel (pada persamaan 1), atau nilai kerugian ekonomi per unit piksel untuk kelas penggunaan lahan C (pada persamaan 2), pada piksel ke- n
V_n	= nilai kerusakan yang diperoleh dari kurva kerentanan (<i>vulnerability curve</i>) untuk kelas penggunaan lahan C yang ditentukan dari kedalaman genangan pada piksel ke- n .

Proses perhitungan persamaan (1) dan (2) dilakukan pada ILWIS menggunakan *cross operation* antara piksel-piksel pada model bahaya banjir rob, dengan piksel-piksel yang berlokasi sama pada peta populasi penduduk dan pada peta penggunaan lahan. Dengan menggunakan *cross operation*, maka dilakukan perkalian nilai atribut-atribut yang dimiliki oleh masing-masing piksel tersebut. Tiap-tiap piksel pada model bahaya banjir rob memiliki nilai atribut-atribut area tergenang/tidak tergenang serta kedalaman genangan, sementara tiap-tiap piksel pada peta populasi penduduk memiliki nilai atribut jumlah penduduk, dan tiap-tiap piksel pada peta penggunaan lahan memiliki nilai atribut-atribut kelas penggunaan lahan, nilai kerugian ekonomi akibat paparan per kelas penggunaan lahan, dan nilai kerusakan per kelas penggunaan lahan berdasarkan kedalaman genangan yang diperoleh dari kurva kerentanan. Kedua parameter terakhir pada atribut peta penggunaan lahan tersebut diperoleh dari Budiyono dkk. (2014 dan 2016).



Gambar 3. Peta kepadatan penduduk Jakarta per unit piksel (100m x 100m) hasil proyeksi data penduduk tahun 2020 (WorldPop - School of Geography and Environmental Science, University of Southampton, 2021).



Gambar 4. Peta penggunaan lahan Jakarta tahun 2009 (Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Provinsi DKI Jakarta, 2012).

3. HASIL

3.1 Pemodelan bahaya banjir rob menggunakan DEMNAS, DEM Global, dan DEM LiDAR

Pemodelan bahaya banjir rob dengan menggunakan masing-masing DEM bertujuan untuk membandingkan luas area tergenang pada model berbasis masing-masing DEM global dan DEMNAS, terhadap luas area tergenang pada model berbasis DEM LiDAR. Pada perbandingan hasil pemodelan tersebut, kondisi topografi DEM disimulasikan berada pada tahun yang sama, yaitu tahun 2010, menggunakan peta penurunan muka tanah. Tujuannya agar hasil perbandingan antar model tidak dipengaruhi oleh faktor penurunan muka tanah akibat adanya perbedaan waktu akuisisi data topografi antara satu DEM dengan lainnya. Akuisisi data topografi DEM LiDAR yang dijadikan sebagai *baseline* dilakukan pada tahun 2010, sementara akuisisi data topografi untuk pembuatan DEM SRTM dilakukan pada tahun 2000, DEMNAS pada tahun 2011, DEM TanDEM-X pada tahun 2014, dan DEM AW3D30 pada tahun 2010.

Tahun akuisisi data topografi wilayah Jakarta untuk pembuatan DEMNAS, DEM SRTM, dan DEM AW3D30 diketahui dari kelengkapan informasi yang menyertai masing-masing file DEM, sementara tahun akuisisi data topografi wilayah Jakarta untuk DEM TanDEM-X diperkirakan dari *mission status* TanDEM-X (Zink dkk., 2014).

Pada perbandingan antara masing-masing model berbasis DEM global dan DEMNAS dengan model berbasis DEM LiDAR, digunakan HAT sebagai datum di dalam pemodelan. Dengan demikian hasil perbandingan antar produk model adalah pada skenario muka air laut berada pada elevasi maksimum dalam satu periode pasang surut. Hasil pemodelan menggunakan DEMNAS, DEM global, dan DEM LiDAR dapat dilihat pada **Gambar 5**, sementara perbandingan luas area tergenang hasil pemodelan menggunakan masing-masing DEMNAS dan DEM global terhadap model berbasis DEM LiDAR dapat dilihat pada **Tabel 2**.

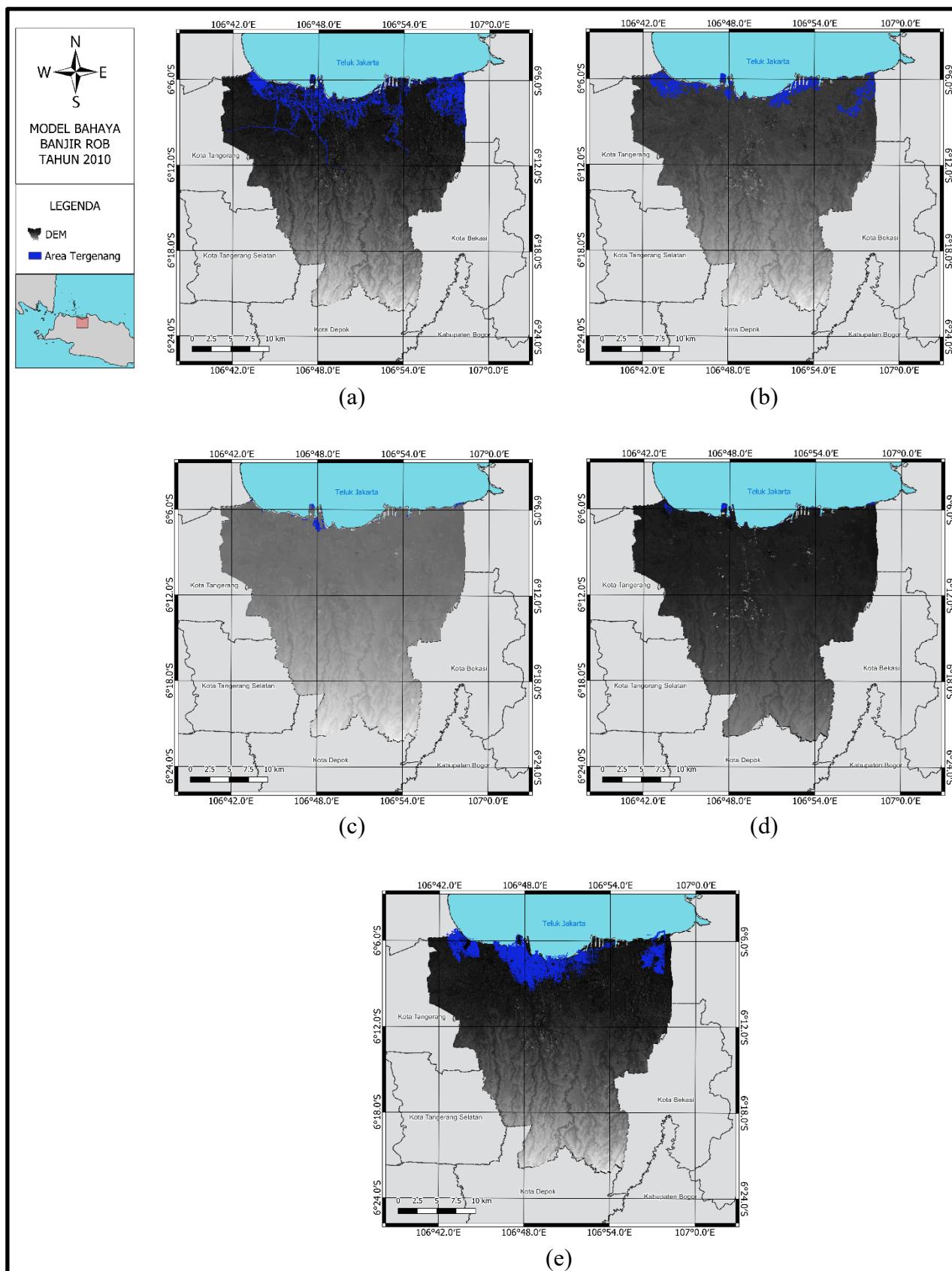
Pada **Tabel 2** terlihat bahwa luas area tergenang pada model berbasis DEMNAS nilainya paling mendekati luas area tergenang pada model berbasis DEM LiDAR, yaitu dengan perbandingan antara keduanya sebesar 97%. Model selanjutnya yang paling mendekati model DEM LiDAR dalam hal luas area tergenang adalah model berbasis DEM SRTM dengan nilai perbandingan sebesar 48%. Model berbasis DEM TanDEM-X dan model berbasis DEM AW3D30 menghasilkan luas area tergenang yang sangat kecil. Perbandingan luas area tergenang keduanya dengan luas area tergenang pada model berbasis DEM LiDAR masing-masing hanya sebesar 5% dan 4%. Dengan menjadikan model berbasis DEM LiDAR sebagai baseline, maka dapat disimpulkan bahwa di antara model-model tersebut, model berbasis DEMNAS memiliki akurasi paling baik, yang selanjutnya diikuti oleh model berbasis DEM SRTM, dan pada urutan terakhir adalah model berbasis DEM TanDEM-X serta model berbasis DEM AW3D30 yang memiliki akurasi paling rendah.

Tabel 2. Perbandingan luas area tergenang pada masing-masing model berbasis DEMNAS dan DEM global, dengan model berbasis DEM LiDAR.

DEM basis pemodelan*	Luas area tergenang pada model**	Perbandingan dengan model berbasis DEM LiDAR (%)
DEMNAS	4775,00 Ha	97
SRTM	2335,54 Ha	48
TanDEM-X	224,39 Ha	5
AW3D30	208,14 Ha	4
LiDAR	4897,56 Ha	100

* Kondisi topografi DEM disimulasikan berada di tahun 2010.

** Pemodelan menggunakan datum HAT.



Gambar 5. Model bahaya banjir rob berbasis (a) DEMNAS, (b) DEM SRTM, (c) DEM TanDEM-X, dan (d) DEM LiDAR.

3.2 Penilaian risiko jumlah penduduk terpapar

Pada bagian sebelumnya telah dilakukan perbandingan antara luas area tergenang pada model berbasis DEMNAS dan DEM global dengan luas area tergenang pada model berbasis DEM LiDAR. Di dalam pemodelan digunakan DEM dengan simulasi kondisi topografi di tahun 2010, dan dengan penggunaan datum vertikal HAT. Pada bagian ini dilakukan perbandingan antar model secara lebih lanjut, yaitu dengan membandingkan hasil penilaian risiko jumlah penduduk terpapar dan kerugian ekonomi berdasarkan masing-masing model tersebut.

Penilaian risiko jumlah penduduk terpapar diperoleh dari hasil pertampalan model bahaya banjir rob dengan peta populasi penduduk. Hasil penilaian risiko jumlah penduduk terpapar dengan menggunakan masing-masing model diperlihatkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil penilaian risiko jumlah penduduk terpapar banjir rob menggunakan model berbasis masing-masing DEM.

DEM basis pemodelan	Jumlah penduduk berisiko terpapar	Perbandingan terhadap model berbasis DEM LiDAR (%)
DEMNAS	598.759	97
SRTM	282.509	46
TanDEM-X	26.838	4
AW3D30	11.491	2
LiDAR	620.309	100

Pada **Tabel 3** terlihat bahwa hasil penilaian risiko jumlah penduduk terpapar menggunakan model berbasis DEMNAS hasilnya paling mendekati hasil penilaian risiko menggunakan model berbasis DEM LiDAR, yaitu dengan perbandingan keduanya sebesar 97%. Pada urutan berikutnya, penilaian risiko jumlah

penduduk terpapar menggunakan model berbasis DEM SRTM menghasilkan nilai sebesar 46% dari model berbasis DEM LiDAR, sementara penggunaan model berbasis DEM TanDEM-X dan model berbasis DEM AW3D30 yang berakurasi rendah, berturut-turut menghasilkan angka 4% dan 2% dari hasil penilaian risiko menggunakan model berbasis DEM LiDAR.

3.3 Penilaian risiko kerugian ekonomi

Penilaian besarnya risiko kerugian ekonomi akibat lahan yang terpapar banjir rob, dilakukan berdasarkan hasil pertampalan model bahaya banjir rob dengan peta penggunaan lahan. Hasil penilaian risiko kerugian ekonomi berdasarkan masing-masing model berbasis DEMNAS, DEM global, dan DEM LiDAR dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil penilaian risiko kerugian ekonomi menggunakan model berbasis masing-masing DEM.

DEM basis pemodelan	Nilai risiko kerugian (miliar rupiah)	Perbandingan terhadap model berbasis DEM LiDAR
DEMNAS	7.142	110
SRTM	3.381	52
TanDEM-X	173	3
AW3D30	291	4
LiDAR	6.468	100

Pada **Tabel 4** terlihat bahwa hasil penilaian risiko menggunakan model berbasis DEMNAS melebihi (*overestimate*) hasil penilaian risiko menggunakan model berbasis DEM LiDAR, meskipun area tergenang pada model berbasis DEMNAS lebih kecil dibanding pada model berbasis DEM LiDAR. Hal itu dikarenakan selain ditentukan luas area tergenang, perhitungan nilai risiko kerugian ekonomi juga ditentukan oleh ketinggian genangan, sebagaimana dapat dilihat pada persamaan (2). Hasil perhitungan ketinggian genangan pada

model berbasis DEM LiDAR memiliki akurasi lebih baik dibanding pada model berbasis DEMNAS, sehingga menghasilkan penilaian risiko yang juga lebih akurat. Pada hasil penilaian risiko menggunakan model berbasis DEM lainnya, penggunaan model berbasis DEM SRTM, DEM TanDEM-X, dan DEM AW3D30 menghasilkan nilai risiko kerugian ekonomi yang lebih kecil (*underestimate*) dari hasil penilaian risiko menggunakan model berbasis DEM LiDAR. Perbandingan hasil penilaian risiko menggunakan model berbasis DEM global tersebut terhadap hasil penilaian risiko menggunakan model berbasis DEM LiDAR berkisar antara 3% - 52%.

4. DISKUSI

4.1 Perbandingan akurasi produk model berbasis DEMNAS, DEM global, dan DEM LiDAR

Hasil perbandingan antara model berbasis DEMNAS dan DEM global dengan model berbasis DEM LiDAR yang dijadikan sebagai *baseline*, menunjukkan bahwa di antara model-model tersebut, model berbasis DEMNAS memiliki akurasi paling baik, yang selanjutnya diikuti oleh model berbasis DEM SRTM, dan pada urutan terakhir terdapat model berbasis DEM TanDEM-X serta model berbasis DEM AW3D30 yang memiliki akurasi paling rendah. Berdasarkan data akurasi dan resolusi spasial masing-masing DEM yang ditunjukkan pada **Tabel 1**, terlihat bahwa DEMNAS memiliki akurasi vertikal relatif lebih baik dan resolusi spasial lebih tinggi dibanding DEM global. Berdasarkan hal tersebut maka dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi positif antara akurasi DEM dengan akurasi produk model.

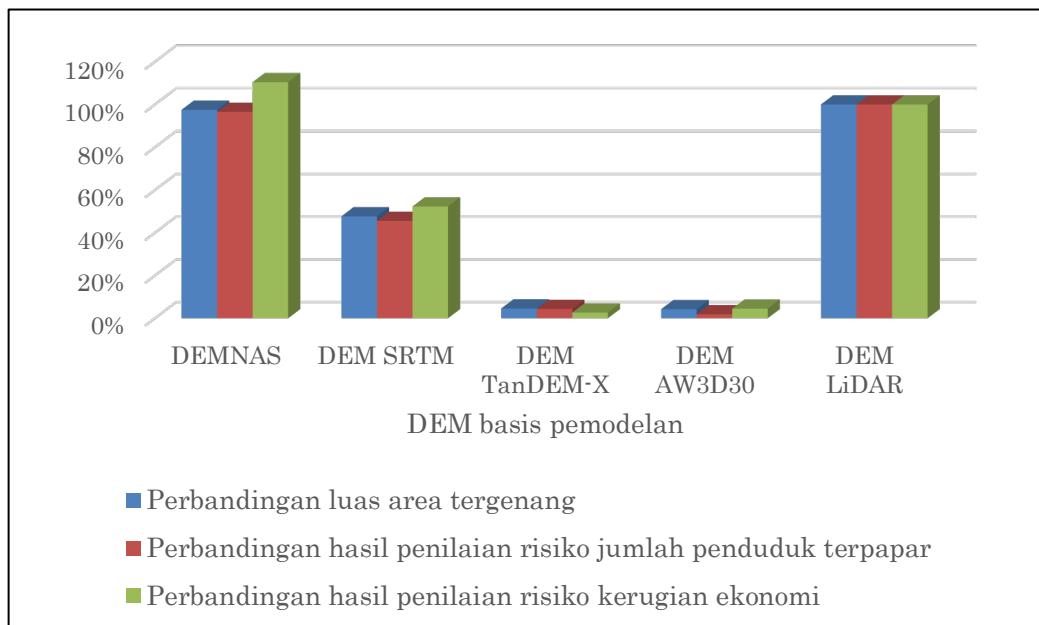
Pada **Tabel 1** juga dapat dilihat bahwa akurasi vertikal DEM SRTM nilainya lebih rendah dibanding dengan DEM TanDEM-X, namun model berbasis DEM SRTM memiliki akurasi lebih baik dibanding model berbasis DEM TanDEM-X. Meskipun memiliki akurasi vertikal lebih rendah, resolusi spasial DEM SRTM jauh lebih tinggi dibanding resolusi spasial DEM TanDEM-X, yaitu 30 m

berbanding 90 m. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa selain ditentukan oleh akurasi vertikal DEM, akurasi produk model dipengaruhi juga oleh resolusi spasial DEM yang menjadi basis pemodelan. Semakin tinggi resolusi spasial DEM, maka semakin tinggi pula akurasi model bantuan banjir rob yang dihasilkan.

4.3 Perbandingan akurasi penilaian risiko bencana banjir rob menggunakan produk model berbasis DEMNAS, DEM global, dan DEM LiDAR

Berdasarkan hasil perbandingan antara masing-masing model dengan model berbasis DEM LiDAR dalam hal luas area tergenang yang diperlihatkan pada **Tabel 2**, dan dalam hal hasil penilaian risiko jumlah penduduk terpapar beserta hasil penilaian risiko kerugian ekonomi, yang masing-masing diperlihatkan pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**, terlihat adanya angka perbandingan yang relatif sama untuk ketiga jenis perbandingan tersebut. Perbandingan antara model berbasis DEMNAS dengan model berbasis DEM LiDAR dalam hal luas area tergenang, hasil penilaian risiko jumlah penduduk terpapar, dan hasil penilaian risiko kerugian ekonomi, berturut-turut adalah sebesar 97%, 97%, dan 110%. Perbandingan antara model berbasis DEM SRTM dengan model berbasis DEM LiDAR dalam ketiga jenis perbandingan tersebut berkisar pada angka 50%, yaitu masing-masing sebesar 48% untuk perbandingan luas area tergenang, 46% untuk perbandingan hasil penilaian risiko jumlah penduduk terpapar, dan 52% untuk perbandingan hasil penilaian risiko kerugian ekonomi. Perbandingan antara model berbasis DEM TanDEM-X dan model berbasis DEM AW3D30 terhadap model berbasis DEM LiDAR, masing-masing menghasilkan angka perbandingan yang sangat kecil, yaitu kurang dari 5% untuk ketiga jenis perbandingan. Besarnya perbandingan antara masing-masing model berbasis DEMNAS dan DEM global dengan model berbasis DEM LiDAR, dalam hal luas area tergenang, hasil penilaian risiko jumlah penduduk terpapar, dan hasil penilaian

risiko kerugian ekonomi, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 6**. Pada **Gambar 6** dapat diperhatikan adanya korelasi positif antara akurasi produk model dengan akurasi hasil penilaian risiko. Semakin tinggi akurasi produk model, yang ditunjukkan dengan luas area tergenang yang semakin mendekati luas area tergenang pada model berbasis DEM LiDAR, maka semakin akurat pula hasil penilaian risiko jumlah penduduk terpapar dan nilai kerugian ekonomi, yang ditunjukkan dengan hasil penilaian risiko yang semakin mendekati hasil penilaian risiko menggunakan model berbasis DEM LiDAR. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa terdapat efek akurasi produk model terhadap hasil penilaian risiko bencana banjir rob.



Gambar 6. Grafik persentase perbandingan masing-masing model terhadap model berbasis DEM LiDAR dalam hal luas area tergenang, nilai risiko jumlah penduduk terpapar, dan nilai risiko kerugian ekonomi.

5. KESIMPULAN

Hasil perbandingan antar model berbasis masing-masing DEM dengan simulasi kondisi topografi di tahun yang sama, menunjukkan adanya efek akurasi DEM terhadap hasil pemodelan bahaya banjir rob di Jakarta. Pemodelan menggunakan DEMNAS, DEM SRTM, DEM TanDEM-X, DEM AW3D30, dan DEM LiDAR yang memiliki akurasi vertikal dan resolusi spasial yang berbeda-beda, menghasilkan area tergenang dengan luas yang berbeda-beda pula, yaitu masing-masing seluas 4.775 Ha, 2.336 Ha, 224 Ha, 208 Ha, dan 4.898 Ha. Model berbasis DEMNAS memiliki akurasi lebih tinggi dibanding model berbasis DEM global, dikarenakan menghasilkan luas area tergenang yang paling mendekati luas area tergenang pada model berbasis DEM LiDAR. Perbandingan luas area tergenang antara model berbasis DEMNAS dengan model berbasis

DEM LiDAR adalah sebesar 97%, sementara perbandingan luas area tergenang antara model berbasis DEM global dengan model berbasis DEM LiDAR bervariasi antara 5% - 48%. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan adanya korelasi positif antara akurasi vertikal dan resolusi spasial DEM dengan akurasi produk model.

Penilaian risiko jumlah penduduk terpapar menggunakan masing-masing produk model berbasis DEMNAS, DEM SRTM, DEM TanDEM-X, DEM AW3D30, dan DEM LiDAR, yang semuanya disimulasikan berada pada kondisi topografi di tahun 2010 dan dengan simulasi tinggi muka air laut sama dengan HAT, menghasilkan nilai risiko jumlah penduduk terpapar masing-masing sebanyak 598.759 orang, 282.509 orang, 26.838 orang, 11.491 orang, dan 620.309 orang. Pada

penggunaan masing-masing produk model tersebut dengan kondisi yang sama untuk penilaian risiko kerugian ekonomi, masing-masing menghasilkan total nilai risiko kerugian sebesar Rp 7,1 triliun, Rp 3,4 triliun, Rp 0,2 triliun, Rp 0,3 triliun, dan Rp 6,5 triliun. Perbedaan hasil penilaian risiko bencana banjir rob di Jakarta, antara menggunakan model berbasis DEM global dengan menggunakan model berbasis DEM LiDAR memiliki rentang sekitar 2,2 - 54,0 kali lebih rendah pada penilaian risiko jumlah penduduk terpapar, dan sekitar 1,9 - 37,6 kali lebih rendah pada penilaian risiko nilai kerugian ekonomi akibat paparan banjir rob terhadap aset lahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Prov. DKI Jakarta, Bidang Prasarana dan Sarana Kota dan Lingkungan Hidup yang telah memberikan file GIS peta penggunaan lahan DKI Jakarta.

REFERENSI

- Abidin, H.Z., Andreas, H., Gumilar, I., Fukuda, Y., Pohan, Y.E., dan Deguchi, T. (2011): Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its relation with urban development, *Nat. Hazards*, **59**, 1753 – 1771.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-011-9866-9>.
- Andreas, H., Usriyah, Abidin, H.Z., dan Sarsito, D.A. (2017): Tidal inundation (“Rob”) investigation using time series of high resolution satellite image data and from insitu measurements along northern coast of Java (Pantura), *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **71** 012005.
- Andreas, H., Abidin, H.Z., Gumilar, I., Sidiq, T.P., Sarsito, D.A., dan Pradipta, D. (2018): Insight into the correlation between land subsidence and the floods in regions of Indonesia, *Natural Hazards – Risk Assessment and Vulnerability Reduction*, *InTechOpen*, 39 – 55.
<https://www.intechopen.com/chapters/63411>.
- Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Provinsi DKI Jakarta (2012): Peta penggunaan lahan Jakarta tahun 2009 dalam Peraturan Daerah Provinsi DKI Jakarta Nomor 1 Tahun 2012 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Jakarta 2030.
- Budiyono, Y., Aerts, J., Brinkman, J., Marfai, M.A., dan Ward, P. (2014): Flood risk assessment for delta mega-cities: a case study of Jakarta, *Nat. Hazards*, **75**, 389 – 413.
<https://research.vu.nl/en/publications/flood-risk-assessment-for-delta-mega-cities-a-case-study-of-jakar>.
- Budiyono, Y., Aerts, J.C.J.H., Tollenaar, D., dan Ward, P.J. (2016): River flood risk in Jakarta under scenarios of future change, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **16**, 757 – 774.
<https://nhess.copernicus.org/articles/16/757/2016/nhess-16-757-2016.pdf>.
- Farr, T.G., Rosen, P.A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., dan Alsdorf, D. (2007): The shuttle radar topography mission, *Rev. Geophys.*, **45**, 1 – 33.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2005RG000183>.
- Hawker, L., Bates, P., Neal, J., dan Rougier, J. (2018): Perspectives on Digital Elevation Model (DEM) simulation for flood modeling in the absence of a high-accuracy open access global DEM, *Front. Earth Sci.*, 6:233.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2018.00233/full>
- Kulp, S. dan Strauss, B.H. (2016): Global DEM errors underpredict coastal vulnerability to sea level rise and flooding, *Front. Earth Sci.*, 4:36.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2016.00036/full>
- Latief, H., Putri, M.R., Hanifah, F., Afifah, I.N., Fadli, M., dan Ismoyo, D.O. (2018): Coastal hazard assessment in northern part of Jakarta, *7th International Conference on Building Resilience*;

- Using scientific knowledge to inform policy and practice in disaster risk reduction, ICBR2017, 27 – 29 November 2017, Bangkok, Thailand, Procedia Engineering, 212, 1279 – 1286.*
- Marfai, M.A. (2004): Tidal flood hazard assessment: modeling in raster GIS, case in western part of Semarang coastal area, *Indonesian Journal of Geography*, **36**, 25 – 38
- Marfai, M.A. dan King, L. (2007): Tidal inundation mapping under enhanced land subsidence in Semarang, Central Java Indonesia, *Nat. Hazards*, **44**, 93 – 109.
- Minderhoud, P.S.J., Coumou, L., Erkens, G., Middelkoop, H., dan Stouthamer, E. (2019): Mekong delta much lower than previously assumed in sea-level rise impact assessments, *Nature Communications*, 10:3847.
<https://www.nature.com/articles/s41467-019-11602-1>
- Ogania, J.L., Puno G.R., Alivio M.B.T., Taylaran J.M.G. (2019): Effect of digital elevation model's resolution in producing flood hazard maps, *Global J. Environ. Sci. Manage.*, **5**, 95 – 106.
https://www.gjesm.net/article_33038.html
- Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung (2021): Data penurunan muka tanah di Jakarta sampai dengan tahun 2015.
- Sanders, B.F. (2007): Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling, *Advances in Water Resources*, **30**, 1831 – 1843.
<https://pubag.nal.usda.gov/catalog/2922458>
- Santillan, J.R., dan Makinano-Santillan, M. (2016): Vertical accuracy assessment of 30-m resolution ALOS, ASTER, and SRTM global DEMs over northeastern Mindanao, Philippines, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B4, 2016, XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic*, 149 – 156.
<https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLI-B4/149/2016/>
- Schumann, G., Matgen, P., Cutler, M.E.J., Black, A., Hoffmann, L., dan Pfister, L. (2008): Comparison of remotely sensed water stages from LiDAR, topographic contours and SRTM, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, **63**, 283 – 296.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924271607001256?via%3Dhub>
- Sulistiana, T., Parapat, A.D., dan Aristomo, D. (2019): Analisis akurasi vertikal Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) studi kasus Kota Medan, *FIT ISI 2019 dan ASEANFLAG 72nd Council Meeting*, 37 – 43.
- Takagi, H., Esteban, M., Mikami, T., dan Fujii, D. (2016): Projection of coastal floods in 2050 Jakarta, *Urban Climate*, **17**, 135 – 145.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095516300281?via%3Dhub>
- Turner, A.B., Colby, J.D., Csontos, R.M., dan Batten, M. (2013): Flood modeling using a synthesis of multi-platform LiDAR data, *Water*, **5**, 1533 – 1560.
<https://www.mdpi.com/2073-4441/5/4/1533>
- Van Westen, C.J. (2016): CHARIM Caribbean handbook on risk information management, methodology book, *World Bank GFDRR, ACP-EU Natural Disaster Risk Reduction Program*, Chapter 5.1.
http://www.charim.net/methodology/5_1
- Ward, P.J., Marfai, M.A., Yulianto, F., Hizbaron, D.R., dan Aerts, J.C.J.H. (2011): Coastal inundation and damage exposure estimation: a case study for Jakarta, *Nat. Hazards*, **56**, 899 – 916.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-010-9599-1>
- Wessel, B., Huber, M., Wohlfart, C., Marschalk, U., Kosmann, D., dan Roth,

A. (2018): Accuracy assessment of the global TanDEM-X Digital Elevation Model with GPS data, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 139, 171 – 182.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271618300522>

Zink, M., Bachmann, M., Bräutigam, B., Fritz, T., Hajnsek, I., Krieger, G., Moreira, A., dan Wessel, B. (2014): TanDEM-X: the new global DEM takes shape, *Article in IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 8 – 23

Daftar Pustaka dari Situs Internet (website) :

DEM AW3D30 Wilayah Jakarta, data diperoleh melalui situs internet: <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/>. Diunduh pada tanggal 27 Mei 2021.

DEM SRTM 30m Wilayah Jakarta, data diperoleh melalui situs internet: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Diunduh pada tanggal 25 Mei 2021.

DEM TanDEM-X 90m Wilayah Jakarta, data diperoleh melalui situs internet: <https://download.geoservice.dlr.de/TDM90/>. Diunduh pada tanggal 26 Mei 2021.

DEMNAS Wilayah Jakarta, data diperoleh melalui situs internet: <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas>. Diunduh pada tanggal 25 Mei 2021.

Peta Populasi Penduduk Wilayah Jakarta, data diperoleh melalui situs internet: <https://www.worldpop.org/>. Diunduh pada tanggal 8 Juni 2021.