

Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Pemetaan Potensi Air Tanah di Kota Denpasar dan Badung

Renata Clarice Minerva, R. Suyarto^{*)}, Wiyanti

Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Udayana
Jln PB. Sudirman Denpasar Bali 80232, Indonesia

^{*)}Email: rsuyarto@yahoo.co.id

Abstract

Groundwater need is always increasing due to population growth, climate change, economic growth, and uneven water distribution, especially in the densely populated areas like Denpasar and Badung, which also has a large area of built-up land. Excessive and continuous use of groundwater can cause a decrease in its quality and quantity. Such conditions make the research of groundwater potential is important to do. The purpose of this research is to determine the distribution of groundwater potential in the Denpasar and Badung regions and compare the results with the actual conditions. The methods that are used in this research are the calculation of vegetation index, rainfall data, and DEM data using Remote Sensing. This research results in the form of maps of rainfall, slope, elevation, and maps of NDMI, NDWI, SAVI, GNDVI, NDVI, BSI, dan NDBI. The research showed that groundwater potential in the location is divided into five classes, which are Very low, low, medium, high, and very high. Areas with very low groundwater potential are dominated by West Denpasar, North Denpasar, and parts of South Denpasar. the low class dominates the Kuta area, medium class is spread throughout the region, high class dominates the North Kuta area, while the very high class dominates the lower part of South Denpasar and some parts of North Kuta.

Keywords: *Remote Sensing, Groundwater Potential, Denpasar City and Badung*

1. Pendahuluan

Air tanah merupakan segala bentuk aliran air hujan yang meresap ke bawah melalui pori-pori di antara butiran tanah, kemudian mengalir akibat struktur perlapisan geologi, beda potensi kelembaban tanah, dan gaya gravitasi bumi (Asdak, 2010). Air tanah yang merupakan sumber air bersih terbesar yang tersedia di dunia (Agarwal & Garg, 2016), seringkali digunakan untuk berbagai kepentingan, seperti agrikultur, industri, margasatwa, dan aktivitas manusia (Ebrahimi *et al.*, 2016). Keberadaan air tanah dalam suatu akuifer dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain kondisi geologi, hidrologi, dan tutupan lahan (Sudarmadji *et al.*, 2014). Menurut Mandal *et al.* (2016), beberapa faktor penting dalam menentukan potensi air tanah adalah curah hujan, lereng, tekuk lereng. Selain faktor tersebut, Normalized Difference Index Vegetation (NDVI),

Normalized Difference Moisture Index (NDMI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Bare Soil Index (BSI), dan Normalized Difference Built-Up Index (NDBI) juga dapat digunakan untuk menentukan potensi air tanah pada suatu area. Sumber daya air selain menjadi salah satu kebutuhan primer bagi manusia, juga penting untuk menunjang kegiatan pariwisata dan industri lainnya, terutama di kawasan Kota Denpasar dan Badung yang padat akan penduduk. Kota Denpasar dalam kurun waktu dua dekade ini menunjukkan perkembangan pesat yang sebagian besar dilatarbelakangi oleh aktivitas pariwisata. Penggunaan air tanah secara berlebihan dan terus-menerus dapat menyebabkan penurunan kuantitasnya, sehingga menjadikan kajian potensi air tanah penting untuk dilakukan. Salah satu cara untuk mengkaji hal tersebut adalah dengan menggunakan Penginderaan Jauh (PJ), yaitu teknik variasi yang dikembangkan untuk memperoleh dan menganalisis informasi bumi yang berbentuk pantulan radiasi elektromagnetik dari permukaan bumi (Lindgreen, 1985).

2. Bahan dan Metode

2.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan pada Oktober 2022—Februari 2023. Lokasi penelitian terletak di Kota Denpasar dan Badung, yang meliputi Denpasar Barat, Denpasar Timur, Denpasar Utara, Denpasar Selatan, Kuta, dan Kuta Utara.

2.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Citra Optik Sentinel 2-A Tahun 2022, Peta DEMNAS Resolusi Spasial 8,33 m, Data Curah Hujan *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station* (CHIRPS) Kota Denpasar dan Badung tahun 2013 – 2022. Alat yang digunakan yaitu laptop, *Software ArcGIS 10.6*, *Software Microsoft Office 2020*, telepon genggam, dan aplikasi *GPS Map Camera*.

2.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan adalah skoring dengan menggunakan parameter yang berpengaruh terhadap potensi air tanah dengan memanfaatkan data dari penginderaan jauh dan pengecekan lapang. Penelitian ini menggunakan parameter yang merujuk pada penelitian Mandal et al. (2016) dengan modifikasi. Parameter yang merujuk pada penelitian Mandal et al. (2016) meliputi curah hujan, ketinggian tempat, dan kemiringan lereng, sedangkan parameter yang ditambahkan adalah NDWI, NDMI, SAVI, GNDVI, NDVI, BSI, dan NDBI. Pengecekan lapang dilakukan dengan metode *purposive sampling*.

2.3 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu (1) pengumpulan data, (2) pra pengolahan data, (3) pengolahan data, (4) analisis sebaran nilai spasial potensi air tanah, dan (5) pengecekan lapang. Analisis potensi air tanah dilakukan dengan perhitungan nilai dan bobot pada masing-masing parameter, dan dikalkulasikan dengan pendekatan indeks sebagai berikut:

$$\text{Potensi Air Tanah} = (\text{curah hujan} \times 20\%) + (\text{ketinggian tempat} \times 12\%) + (\text{kemiringan lereng} \times 12\%) + (\text{NDWI} \times 10\%) + (\text{NDMI} \times 10\%) + (\text{SAVI} \times 8\%) + (\text{GNDVI} \times 8\%) + (\text{NDVI} \times 10\%) + (\text{BSI} \times 5\%) + (\text{NDBI} \times 5\%)$$

3. Hasil dan Pembahasan

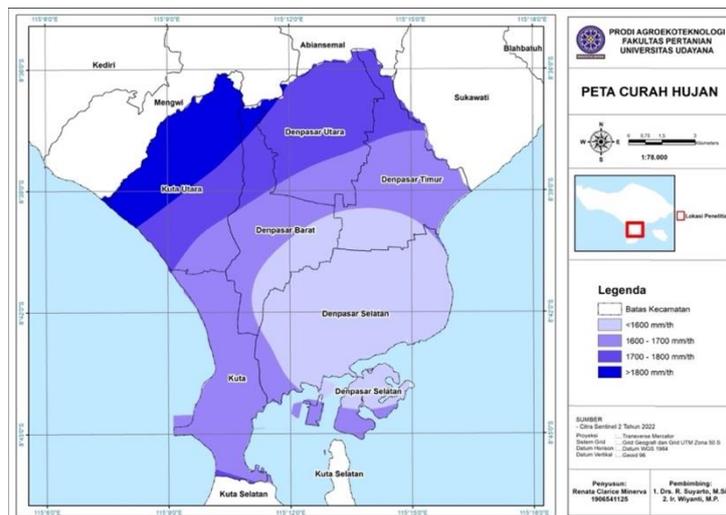
3.1 Hasil

1. Curah Hujan

Curah hujan menentukan jumlah air yang tersedia untuk dapat diinfiltrasi ke dalam air tanah (Agarwal & Garg, 2016). Klasifikasi curah hujan di Kota Denpasar dan Badung disajikan pada Tabel 1 dan sebaran spasialnya disajikan pada Gambar 1.

Tabel 1. Curah Hujan Kota Denpasar dan Badung

No.	Curah Hujan (mm/th)	Skor	Nilai Pixel (10 m)	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	≤1600 mm/th	1	572.591	5.726	31
2	>1600 - 1700 mm/th	2	656.458	6.565	36
3	>1700 - 1800 mm/th	3	399.026	3.990	22
4	>1800 mm/th	4	208.554	2.086	11
Total			1.836.629	18.366	100%



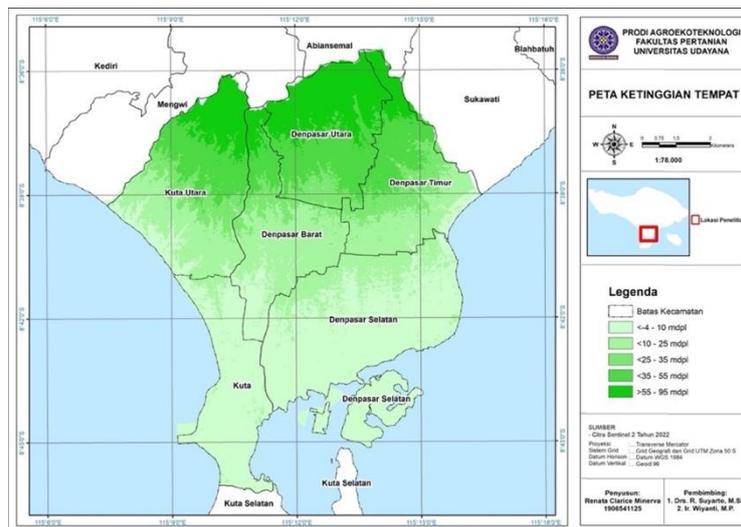
Gambar 1. Peta Curah Hujan Kota Denpasar dan Badung

2. Ketinggian Tempat

Ketinggian tempat menentukan pergerakan air di dalam tanah, semakin tinggi suatu tempat maka semakin cepat pula air bergerak ke bawah dan jauh dari permukaan tanah. Klasifikasi ketinggian tempat di Kota Denpasar dan Badung disajikan pada Tabel 2 dan sebaran spasialnya dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 2. Ketinggian Tempat Kota Denpasar dan Badung

No.	Ketinggian Tempat (mdpl)	Skor	Nilai Pixel (8,33 m)	Luas (ha)	Persentase (%)
1	≤4 - 10	5	1.023.167	7.100	39
2	>10 - 25	4	634.321	4.401	24
3	>25 - 35	3	257.474	1.766	10
4	>35 - 55	2	398.085	2.762	15
5	>55 - 95	1	336.773	2.337	13
Total			2.649.820	18.366	100%



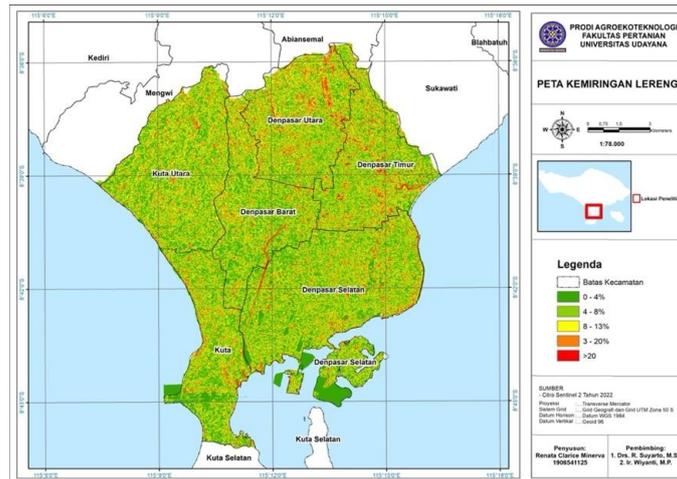
Gambar 2. Peta Ketinggian Tempat Kota Denpasar dan Badung

3. Kemiringan Lereng

Kelerengan merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap infiltrasi air hujan (Selvam, et al., 2016). Daerah dengan lereng yang curam mengindikasikan kecepatan pergerakan air yang tinggi menuju ke daerah yang lebih rendah, karena daerah curam akan meningkatkan limpasan permukaan, sehingga mengurangi tingkat infiltrasi air permukaan, begitu pula sebaliknya (Duan, et al., 2016). Klasifikasi kemiringan lereng di Kota Denpasar dan Badung disajikan pada Tabel 3 dan sebaran spasialnya dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 3. Kemiringan Lereng Kota Denpasar dan Badung

No.	Kemiringan Lereng (%)	Skor	Nilai Pixel (8,33 m)	Luas (ha)	Persentase (%)
1	≤0 - 4	5	400.262	2.777	15
2	>4 - 8	4	463.788	3.218	18
3	>8 - 13	3	705.985	4.957	27
4	>13 - 20	2	856.913	5.946	32
5	>20	1	211.461	1.467	8
Total			2.638.409	18.366	100%



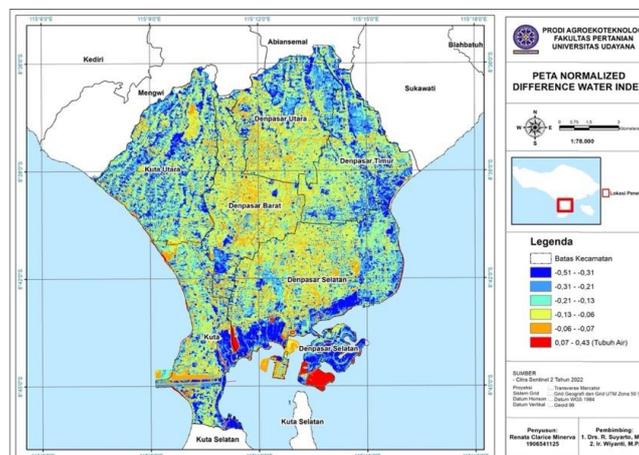
Gambar 3. Peta Kemiringan Lereng Kota Denpasar dan Badung

4. Normalized Difference Water Index (NDWI)

NDWI menunjukkan dominasi daerah dengan kadar air pada wilayah yang direkam dengan menggunakan rasio reflektansi dari saluran inframerah dekat dan saluran hijau untuk penetrasi cahaya pada permukaan tanah yang memiliki kadar air (Gao, 1996). Klasifikasi NDWI di Kota Denpasar dan Badung disajikan pada Tabel 4 dan sebaran spasialnya dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 4. Nilai NDWI Kota Denpasar dan Badung

No.	Nilai NDWI	Skor	Nilai Pixel (10 m)	Luas (ha)	Persentase (%)
1	$\geq -0,06$ - $-0,07$	1	262.249	2.622	14
2	$> -0,13$ - $-0,06$	2	512.640	5.126	28
3	$> -0,21$ - $-0,13$	3	427.051	4.271	23
4	$> -0,31$ - $-0,21$	4	341.220	3.426	19
5	$\geq -0,51$ - $-0,31$	5	265.837	2.658	14
6	0,07 - 0,43 (Tubuh Air)	5	26.208	262	1
Total			1.835.205	18.366	100%



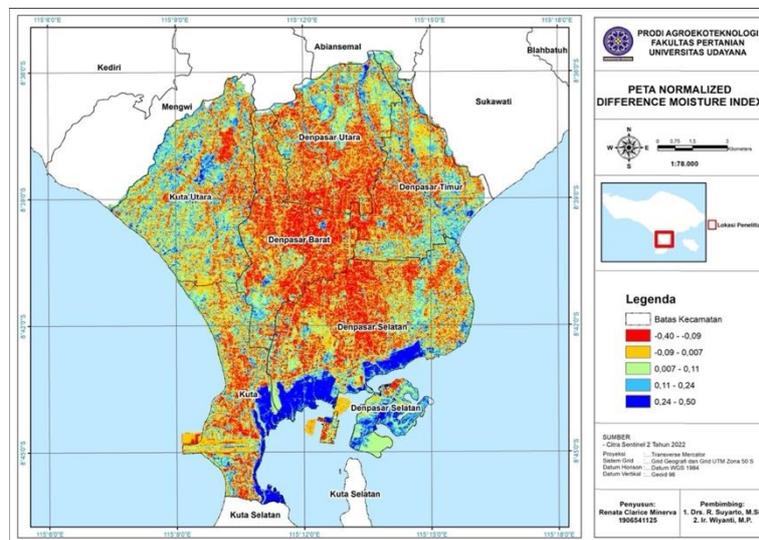
Gambar 4. Peta NDWI Kota Denpasar dan Badung

5. Normalized Difference Moisture Index (NDMI)

NDMI dapat mengidentifikasi kelembaban pada suatu permukaan tanah. Sahu (2014) membahas mengenai identifikasi sebaran genangan air dan endapan sungai dengan berbagai rasio *band*, di mana salah satunya adalah NDMI. Dengan demikian dapat diketahui bahwa semakin tinggi nilai NDMI, maka semakin baik pula potensi air tanah yang ada pada area tersebut. Klasifikasi NDMI di Kota Denpasar dan Badung disajikan pada Tabel 5 dan sebaran spasialnya dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 5. Nilai NDMI Kota Denpasar dan Badung

No.	Nilai NDMI	Skor	Nilai Pixel (20 m)	Luas (ha)	Persentase (%)
1	$\geq -0,4 - -0,09$	1	108.148	4.326	24
2	$> -0,09 - 0,007$	2	137.053	5.482	30
3	$> 0,007 - 0,11$	3	109.585	4.397	24
4	$> 0,11 - 0,24$	4	76.749	3.070	17
5	$> 0,24 - 0,50$	5	27.271	1.091	6
Total			458.806	18.366	100%



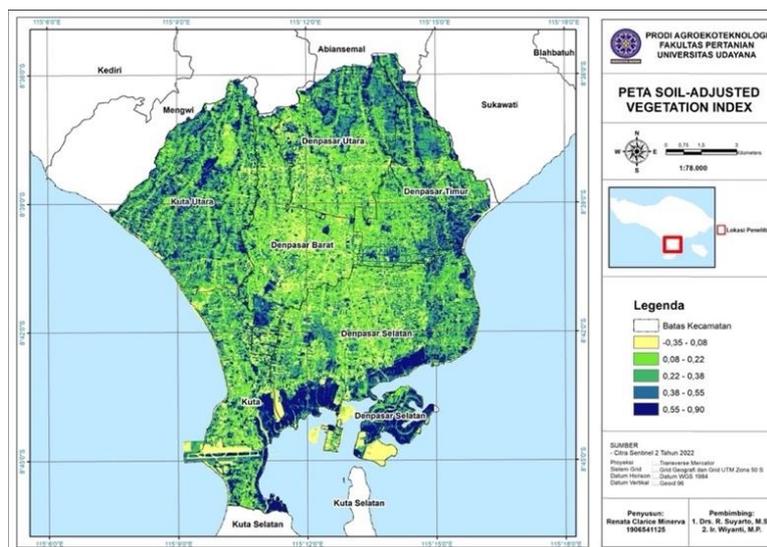
Gambar 5. Peta NDMI Kota Denpasar dan Badung

6. Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)

Hasil pemetaan dengan algoritma ini dapat diamati daerah mana yang memiliki sebaran tanaman-tanaman besar dengan jumlah daun yang banyak. Eksistensi tanaman-tanaman besar yang tumbuh subur dan konsisten menunjukkan bahwa di bawah permukaan tanah pada area tersebut terdapat cadangan air tanah yang hanya mampu dicapai oleh akar-akar tanaman yang cukup besar. Klasifikasi SAVI di Kota Denpasar dan Badung disajikan pada Tabel 6 dan sebaran spasialnya dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 6. Nilai SAVI Kota Denpasar dan Badung

No.	Nilai SAVI	Skor	Nilai Pixel (10 m)	Luas (ha)	Persentase (%)
1	$\geq -0,35 - 0,08$	1	258.356	2.584	14
2	$> 0,08 - 0,22$	2	580.082	5.801	32
3	$> 0,22 - 0,38$	3	407.753	4.078	22
4	$> 0,38 - 0,55$	4	307.747	3.091	17
5	$> 0,55 - 0,90$	5	281.267	2.813	15
Total			1.835.205	18.366	100%



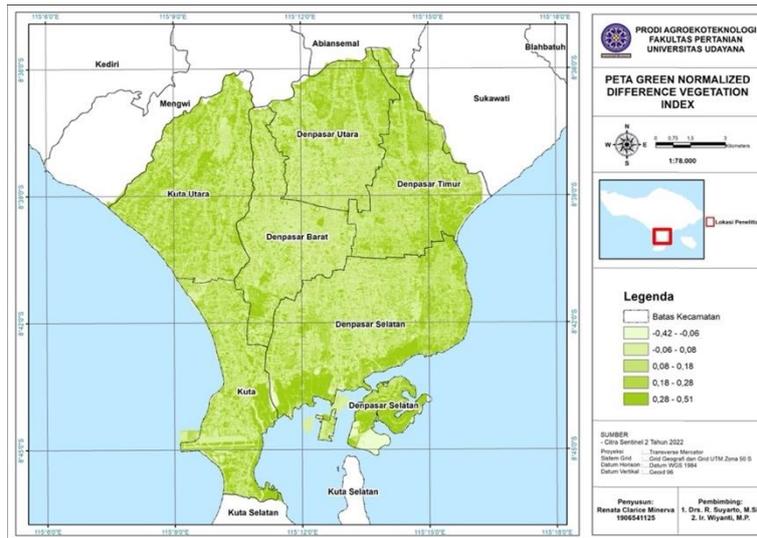
Gambar 6. Peta SAVI Kota Denpasar dan Badung

7. Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)

Klasifikasi GNDVI di Kota Denpasar dan Badung disajikan pada Tabel 7 dan sebaran spasialnya dapat dilihat pada Gambar 7.

Tabel 7. Nilai GNDVI Kota Denpasar dan Badung

No.	Nilai GNDVI	Skor	Nilai Pixel (10 m)	Luas (ha)	Persentase (%)
1	$\geq -0,42 - -0,06$	1	27.540	275	1
2	$> 0,06 - 0,08$	2	411.000	4.124	22
3	$> 0,08 - 0,18$	3	617.540	6.175	34
4	$> 0,18 - 0,28$	4	439.260	4.393	24
5	$> 0,28 - 0,51$	5	339.865	3.399	19
Total			1.835.205	18.366	100%



Gambar 7. Peta GNDVI Kota Denpasar dan Badung

8. *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*

Klasifikasi NDVI di Kota Denpasar dan Badung disajikan pada Tabel 8 dan sebaran spasialnya dapat dilihat pada Gambar 8.

Tabel 8. Nilai NDVI Kota Denpasar dan Badung

No.	Nilai NDVI	Skor	Nilai Pixel (10 m)	Luas (ha)	Persentase (%)
1	$\geq -0,23 - 0,05$	1	258.304	2.583	14
2	$>0,05 - 0,14$	2	580.079	5.801	32
3	$>0,14 - 0,25$	3	407.770	4.092	22
4	$>0,25 - 0,37$	4	307.745	3.077	17
5	$>0,37 - 0,60$	5	281.307	2.813	15
Total			1.835.205	18.366	100%



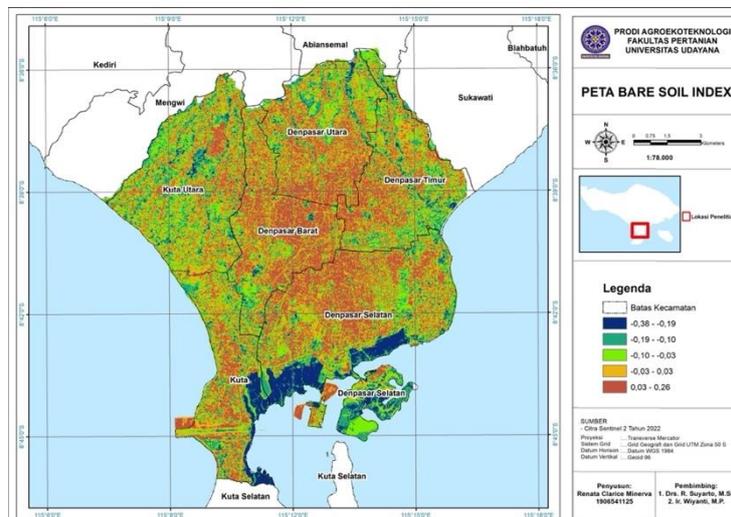
Gambar 8. Peta NDVI Kota Denpasar dan Badung

9. Bare Soil Index (BSI)

Klasifikasi BSI di Kota Denpasar dan Badung disajikan pada Tabel 9 dan sebaran spasialnya dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 9. Nilai BSI Kota Denpasar dan Badung

No.	Nilai BSI	Skor	Nilai Pixel (20 m)	Luas (ha)	Persentase (%)
1	$\geq -0,38$ -- $-0,19$	5	29.905	1.196	7
2	$> -0,19$ - $-0,10$	4	71.167	2.884	16
3	$> -0,10$ - $-0,03$	3	97.856	3.914	21
4	$> -0,03$ - $0,03$	2	128.488	5.140	28
5	$> 0,03$ - $0,26$	1	130.800	5.232	28
Total			458.216	18.366	100%



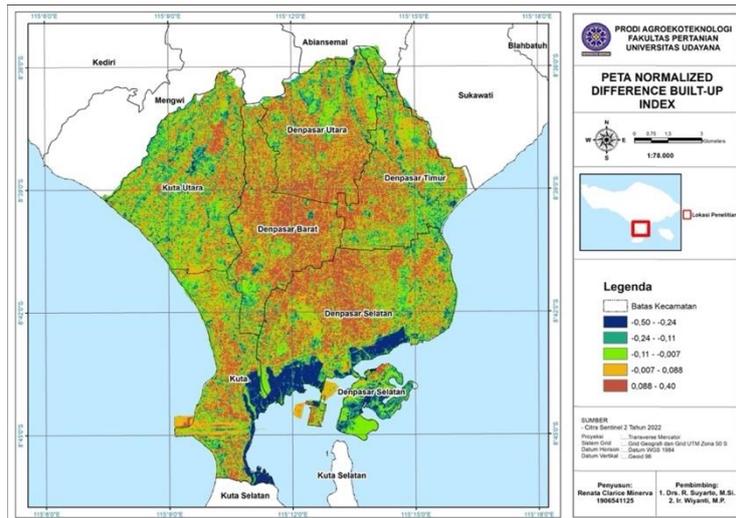
Gambar 9. Peta BSI Kota Denpasar dan Badung

10. Normalized Difference Built-Up Index (NDBI)

Klasifikasi NDBI di Kota Denpasar dan Badung disajikan pada Tabel 10 dan sebaran spasialnya dapat dilihat pada Gambar 10.

Tabel 10. Nilai NDBI Kota Denpasar dan Badung

No.	Nilai NDBI	Skor	Nilai Pixel (20 m)	Luas (ha)	Persentase (%)
1	$\geq -0,50$ - $-0,24$	5	27.271	1.091	6
2	$> -0,24$ - $-0,11$	4	76.749	3.084	17
3	$> -0,11$ - $-0,007$	3	109.585	4.383	24
4	$> -0,007$ - $0,08$	2	131.735	5.269	29
5	$> 0,08$ - $0,40$	1	113.466	4.539	25
Total			458.806	18.366	100%



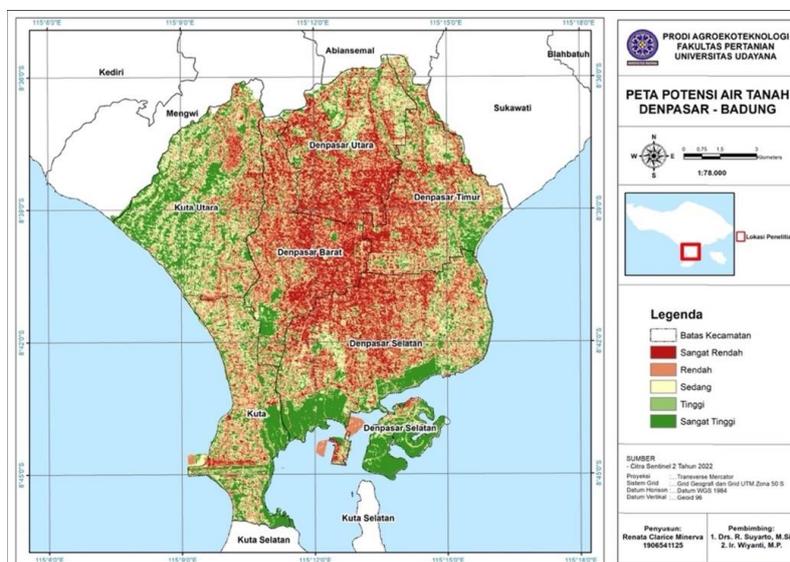
Gambar 10. Peta NDBI Kota Denpasar dan Badung

11. Potensi Air Tanah

Hasil klasifikasi potensi air tanah disajikan pada Tabel 11 dan sebaran spasialnya disajikan pada Gambar 11.

Tabel 11. Klasifikasi Potensi Air Tanah Kota Denpasar dan Badung

No.	Kelas	Nilai	Nilai Pixel (20 m)	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Sangat Rendah	$\geq 140 - 226,47$	83.287	3.331	18
2	Rendah	$> 226,47 - 271,76$	123.335	4.933	27
3	Sedang	$> 271,76 - 319,80$	108.671	4.347	24
4	Tinggi	$> 319,80 - 348,97$	81.388	3.351	18
5	Sangat Tinggi	$> 348,97 - 490$	60.090	2.404	13
Total				18.366	100%



Gambar 11. Peta Sebaran Potensi Air Tanah Kota Denpasar dan Badung

3.2 Pembahasan

Penelitian ini dilakukan tanpa menggunakan data geomorfologi maupun geohidrologi yang dapat mencerminkan kondisi air tanah pada suatu wilayah. Kondisi demikian dikarenakan data yang tersedia memiliki resolusi spasial yang rendah dan tidak representatif untuk analisis data pada skala detail, khususnya pada Kota Denpasar dan Badung. Berdasarkan data pada skala pulau, wilayah Denpasar dan Badung memiliki potensi air tanah yang melimpah karena merupakan wilayah recharge area, namun dengan menggunakan Penginderaan Jauh ditemukan titik-titik dengan potensi air tanah yang sangat rendah sampai dengan sangat tinggi (Gambar 11). Berdasarkan pendekatan penginderaan jauh melalui Citra Optik Sentinel 2-A pada kanal NIR, SWIR, *red*, *blue*, dan *green*, Kota Denpasar dan Badung memiliki potensi air tanah yang bervariasi, yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi (Tabel 11). Kelas sangat rendah ditandai dengan warna merah, rendah warna oranye, sedang warna kuning, tinggi warna hijau muda, dan sangat tinggi warna hijau tua (Gambar 11). Potensi tersebut dideteksi berdasarkan nilai reflektansi yang sensitif terhadap kerapatan vegetasi, tubuh air, bangunan, dan lahan kosong. Wilayah rapat vegetasi dan tubuh air memiliki potensi air tanah yang tinggi, sedangkan wilayah dengan lahan terbangun memiliki potensi air tanah yang rendah. Wilayah pesisir Denpasar Selatan dan Kuta Utara memiliki potensi yang sangat tinggi dikarenakan wilayah tersebut memiliki tutupan vegetasi tertinggi, yaitu dengan tutupan lahan mangrove, yang berasosiasi dengan tubuh air, pada Denpasar Selatan, dan sawah pada Kuta Utara. Hal ini dibuktikan dengan peta sebaran potensi air tanah, di mana pada wilayah tersebut didominasi oleh warna hijau. Bagian pusat perkotaan Denpasar memiliki potensi air tanah terendah dikarenakan padatnya lahan terbangun. Wilayah terbangun memiliki keaktivitasan manusia yang tinggi sehingga berkorelasi terhadap penggunaan air tanah. Setelah melakukan pengecekan lapang, didapatkan hasil bahwa terdapat kesesuaian peta potensi air tanah dengan kondisi lapangan. Berdasarkan data potensi air tanah yang didapat, wilayah Denpasar Barat memiliki potensi air tanah terendah yang disebabkan oleh padatnya lahan terbangun. Setelah melakukan groundcheck, penulis menemukan kesesuaian antara data peta dengan kondisi lapangan, di mana pada wilayah tersebut, khususnya pada desa Dauh Puri Klod, terdapat pemukiman dengan lahan terbangun yang padat dan tidak ditemukan sungai atau pun sumur dengan jarak yang dekat. Kuta Utara memiliki potensi air tanah tertinggi dikarenakan penggunaan lahan pada wilayah tersebut didominasi oleh sawah dan terdapat sungai dengan jarak yang dekat. Ketidaksesuaian antara data yang dihasilkan dengan kondisi di lapangan juga ditemukan pada saat melakukan groundcheck. Wilayah Serangan pada peta memiliki potensi air tanah yang tinggi, sedangkan kondisi aktual di lapangan menunjukkan tidak adanya air tanah pada area tersebut, meskipun memiliki banyak vegetasi dan tubuh air. Hal ini dikarenakan penelitian ini menggunakan saluran yang digunakan pada penelitian ini adalah Green dan NIR dengan resolusi 10 m, sehingga spektral yang ditangkap bukanlah air tanah, melainkan tubuh air.

4. Kesimpulan

Sebaran kondisi potensi air tanah di Kota Denpasar dan Badung terbagi menjadi 5 kelas, yaitu kelas sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Kelas potensi air tanah sangat rendah (rentang nilai $\geq 140 - 226,47$) mendominasi wilayah Denpasar Barat, Denpasar Utara, dan sebagian Denpasar Selatan. Kelas rendah (rentang nilai $> 226,47 - 271,76$) mendominasi wilayah Kuta, kelas sedang (rentang nilai $> 271,76 - 319,80$) tersebar pada seluruh wilayah, kelas tinggi (rentang nilai $> 319,80 - 348,97$) mendominasi wilayah Kuta Utara, sedangkan kelas sangat tinggi ($> 348,97 - 490$) mendominasi bagian bawah wilayah Denpasar Selatan dan beberapa bagian Kuta Utara. Sebaran kondisi potensi air tanah yang didapatkan sebagian besar sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Potensi air tanah terendah didominasi oleh lahan terbangun dan jauh dari badan air seperti sungai dan sumur, potensi air tanah tertinggi memiliki vegetasi yang rapat dan dekat dengan badan air. Ketidaksesuaian antara data dengan kondisi di lapangan ditemukan di wilayah Serangan, yang pada peta memiliki potensi air tanah yang tinggi, sedangkan kondisi aktual di lapangan menunjukkan tidak adanya air tanah pada area tersebut, meskipun memiliki banyak vegetasi dan tubuh air.

Daftar Pustaka

- Agarwal, R. & Garg, P. K. (2016). *Remote Sensing and GIS Based Groundwater Potential & Recharge Zones Mapping Using Multi-Criteria Decision Making Technique*. *Water Resources Management*, 30(1): 243–260.
- Asdak, C. (2010). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Air Sungai: Edisi Revisi Kelima*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press Yogyakarta.
- Duan, H., Deng, Z., Deng, F., & Wang, D. 2016. *Assessment of Groundwater Potential Based on Multicriteria Decision Making Model and Decision Tree Algorithms. Mathematical Problems in Engineering*.
- Ebrahimi, H., Ghazavi, R., & Karimi, H. (2016). *Estimation of Groundwater Recharge from the Rainfall and Irrigation in an Arid Environment Using Inverse Modeling Approach and RS*. *Water Resources Management*, 30(6), 1939-1951.
- Gao. 1996. NDWI – A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. *Remote Sensing of Environment*. 58(3): 257-266
- Lindgreen, D. T. (1985). *Land Use Planning and Remote Sensing*. Martinus Nijhoff Publisher, Dordrecht. Halaman 2.
- Mandal, U., Sahoo, S., Munusamy, S. B., Dhar, A., Panda, S. N., Kar, A., & Mishra, P. (2016). *Delineation of Groundwater Potential Zones of Coastal Groundwater Basin Using Multi-Criteria Decision Making Technique*. *Water Resources Management*, 30, 4293–4310.
- Sahu, A. (2014). Identification and mapping of the water-logged areas in Purba Medinipur part of Keleghai river basin, India: RS and GIS methods. *International Journal of Advanced Geosciences*, 2(1), 45-58.
- Selvam, S., Dar, F. A., Magesh, N. S., Singaraja, C., Venkatramanan, S., & Chung, S. Y. (2016). Application of remote sensing and GIS for delineating groundwater recharge potential zones of Kovilpatti Municipality, Tamil Nadu using IF technique. *Earth Science Informatics*, 9, 137-150.

Sudarmadji, P., dan M. Widy astuti. (2014). *Pengelolaan Sumberdaya Air Terpadu*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.