

|  |             |
|--|-------------|
| <b>Daftar Isi</b> .....  | <b>v</b>    |
| <b>Daftar Tabel</b> .....  | <b>viii</b> |
| <b>Daftar Gambar</b> .....   | <b>ix</b>   |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....                                       | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang .....   | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah .....  | 9           |
| 1.3 Pertanyaan Penelitian .....                                      | 11          |
| 1.4 Tujuan Penelitian.....   | 12          |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....  | 12          |
| 1.6 Batasan Penelitian .....   | 13          |
| <b>BAB II TELAAH PUSTAKA</b> .....                                   | <b>14</b>   |
| 2.1 Pemetaan Penutup Lahan Berbasis Citra Penginderaan Jauh .....    | 14          |
| 2.1.1 Perbedaan Penutup dan Penggunaan Lahan .....                   | 14          |
| 2.1.2 Esensi Informasi Penutup Lahan .....                           | 15          |
| 2.1.3 Skema Klasifikasi Penutup Lahan di Indonesia .....             | 17          |
| 2.1.4 Metode Pemetaan Penutup Lahan Berbasis Penginderaan Jauh ..... | 18          |
| 2.2 Klasifikasi Multispektral Berbasis Piksel .....                  | 19          |
| 2.2.1 Perbandingan Klasifikasi Parametrik dan Nonparametrik .....    | 21          |
| 2.2.2 Algoritma Klasifikasi <i>Maximum Likelihood</i> .....          | 22          |
| 2.2.3 Algoritma Klasifikasi <i>Random Forest</i> .....               | 24          |
| 2.3 Transformasi <i>Tasseled Cap</i> .....                           | 26          |
| 2.4 Uji Akurasi Informasi Tematik Peta .....                         | 29          |
| 2.4.1 Matriks Kesalahan .....  | 29          |
| 2.4.2 Perbandingan Akurasi Tematik .....                             | 31          |
| 2.5 Penelitian Terdahulu .....                                       | 33          |
| 2.6 Kerangka Pemikiran.....  | 37          |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....                               | <b>39</b>   |
| 3.1 Gambaran Umum Metode Penelitian .....                            | 39          |
| 3.2 Diagram Alir Penelitian .....                                    | 39          |
| 3.3 Lokasi Penelitian .....  | 41          |
| 3.4 Data dan Alat Penelitian.....                                    | 43          |
| 3.4.1 Data Penelitian.....   | 43          |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.4.2 Alat Penelitian .....   | 45        |
| 3.5 Persiapan Data.....   | 46        |
| 3.5.1 Pengumpulan Data.....   | 46        |
| 3.5.2 Pra-pemrosesan Citra Satelit .....  | 46        |
| 3.5.3 Penentuan Skema dan Algoritma Klasifikasi .....   | 47        |
| 3.5.4 Peta Penutup Lahan Tentatif.....  | 49        |
| 3.5.5 Desain dan Persebaran Sampel Lapangan.....  | 50        |
| 3.5.6 Ekstraksi Data Latih ( <i>Training Data</i> ).....  | 51        |
| 3.6 Integrasi Klasifikasi Multispektral dan Transformasi <i>Tasseled Cap</i> .....                  | 52        |
| 3.6.1 Klasifikasi Multispektral dengan Saluran Asli (Tujuan 1).....                                 | 52        |
| 3.6.2 Transformasi <i>Tasseled Cap</i> .....  | 53        |
| 3.6.3 Integrasi Klasifikasi Multispektral dan Transformasi <i>Tasseled Cap</i> (Tujuan 2).....      | 54        |
| 3.7 Uji Akurasi Peta Penutup Lahan .....  | 55        |
| 3.7.1 Pembuatan Data Penguji Akurasi .....  | 55        |
| 3.7.2 Matriks Kesalahan ( <i>Confusion Matrix</i> ).....  | 56        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>  | <b>58</b> |
| 4.1 Transformasi <i>Tasseled Cap</i> .....  | 58        |
| 4.2 Klasifikasi Tak-Terbimbing untuk Penutup Lahan Tentatif .....                                   | 61        |
| 4.2.1 Peta Penutup Lahan Tentatif.....  | 61        |
| 4.2.2 Hasil Survei Penutup Lahan Tentatif.....  | 64        |
| 4.3 Data Latih Klasifikasi.....   | 81        |
| 4.4 Korelasi Antar Saluran .....  | 88        |
| 4.5 Penutup Lahan dengan Algoritma <i>Maximum Likelihood</i> .....                                  | 90        |
| 4.6 Penutup Lahan dengan Algoritma <i>Random Forest</i> .....                                       | 94        |
| 4.6.1 Optimalisasi <i>Hyperparameter</i> .....  | 94        |
| 4.6.2 Perbandingan Akurasi Model Algoritma <i>Random Forest</i> .....                               | 96        |
| 4.6.3 Perbandingan Hasil Penutup Lahan Algoritma <i>Random Forest</i> .....                         | 100       |
| 4.7 Pengujian Akurasi Tematik Penutup Lahan.....  | 103       |
| 4.7.1 Interpretasi Data Penguji .....   | 103       |
| 4.7.2 Analisis Akurasi Berdasarkan Metrik Proporsi Kebenaran ( <i>Proportion of Correct</i> ) ..... | 105       |
| 4.7.3 Analisis Akurasi Berdasarkan Metrik Ketidaksepakatan ( <i>disagreement metrics</i> ) .....    | 107       |
| 4.8 Perbandingan Hasil Penutup Lahan Setiap Skenario .....  | 108       |



|  |             |
|--|-------------|
| 4.8.1 Perbandingan Akurasi Integrasi TC Berdasarkan Tipe Penutup Lahan .....                     | 108         |
| 4.8.2 Perbandingan Visual Penutup Lahan.....   | 117         |
| 4.8.3 Kontribusi Peran Transformasi <i>Tasseled Cap</i> Akurasi Penutup Lahan.....               | 124         |
| 4.9 Interoperabilitas Sistem Klasifikasi SNI dalam klasifikasi digital dan Transformasi TC ..... | 128         |
| <b>BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>   | <b>130</b>  |
| 5.1 Kesimpulan.....  | 130         |
| 5.2 Keterbatasan dan Saran .....   | 132         |
| <b>REFERENSI.....</b>  | <b>iv</b>   |
| <b>LAMPIRAN.....</b>   | <b>xiii</b> |

## Daftar Tabel

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabel 2.1</b> Contoh tabel matriks kesalahan yang digunakan untuk menghitung beberapa jenis akurasi pada persamaan. Kelas penutup lahan yang terlihat pada tabel tersebut bertujuan untuk memberikan contoh. Kelas ini dapat beragam sesuai dengan informasi tematik yang diuji..... | 30  |
| <b>Tabel 2.2</b> Rangkuman penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian yang dilakukan   | 33  |
| <b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi citra satelit yang digunakan dalam penelitian.....   | 44  |
| <b>Tabel 3.2</b> Data spasial yang digunakan untuk mendukung penelitian .....   | 44  |
| <b>Tabel 3.3</b> Alat yang digunakan dalam penelitian .....   | 45  |
| <b>Tabel 3.4</b> Kelas penutup lahan berdasarkan klasifikasi SNI 2014 skala 1:250.000 yang kemungkinan ditemui di lokasi penelitian .....   | 47  |
| <b>Tabel 3.5</b> Nilai koefisien TC untuk Landsat 8 OLI berdasarkan penelitian yang dilakukan Zhai et al (2022). Nilai koefisien ini diterapkan untuk citra surface reflectance .....   | 54  |
| <b>Tabel 3.6</b> Variabel dan skenario integrasi transformasi tasseled cap dalam proses klasifikasi multispektral.....  | 55  |
| <b>Tabel 4.1</b> Statistik dasar hasil transformasi Tasseled Cap untuk setiap saluran yang dihasilkan .....   | 58  |
| <b>Tabel 4.2</b> Alokasi sampel untuk setiap kelas penutup lahan yang tentukan secara proporsional .....  | 62  |
| <b>Tabel 4.3</b> Kelas penutup/penggunaan lahan yang diidentifikasi di lokasi penelitian .....  | 80  |
| <b>Tabel 4.4</b> Jumlah piksel serta kelas penutup lahan awal yang digunakan sebagai data latih proses klasifikasi .....  | 83  |
| <b>Tabel 4.5</b> Penggunaan komposit warna dalam menginterpretasi data latih yang digunakan pada penelitian .....   | 84  |
| <b>Tabel 4.6</b> Nilai simpangan baku untuk kelas penutup lahan dengan tipe vegetasi, berdasarkan saluran multispektral dan transformasi TC .....   | 94  |
| <b>Tabel 4.7</b> Nilai akurasi out of bag (OOB) untuk klasifikasi menggunakan algoritma Random Forest.....  | 97  |
| <b>Tabel 4.8</b> Jumlah piksel data pengujian yang digunakan untuk menguji akurasi.....   | 103 |
| <b>Tabel 4.9</b> Perbandingan nilai OA dan koefisien kappa untuk setiap skenario klasifikasi. Skenario integrasi transformasi TC ditandai dengan warna kuning .....   | 106 |
| <b>Tabel 4.10</b> Perbandingan nilai akurasi kelas terkecil pada setiap skenario klasifikasi. Nilai yang ditunjukkan adalah nilai akurasi untuk kelas tubuh air alami .....   | 106 |

## Daftar Gambar

|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| <b>Gambar 2.1</b>  | Contoh perkembangan pemetaan penutup lahan seiring dengan berkembangnya citra yang memiliki resolusi spasial yang lebih tinggi. Mulai dari skala global, nasional, sampai dengan regional. sumber: (Feng dan Li, 2020).....              | 16 |
| <b>Gambar 2.2</b>  | Konsep klasifikasi berbasis piksel. (a) menunjukkan objek penutup lahan yang kemudian diklasifikasikan secara hard classification (b) dan secara soft classification (c). sumber: Lillesand et al., (2015, hal. 563) .....               | 20 |
| <b>Gambar 2.3</b>  | Contoh efek salt and pepper pada tampilan peta hasil klasifikasi multispektral, sumber: arsip pribadi .....  | 22 |
| <b>Gambar 2.4</b>  | Contoh proses pembuatan pohon keputusan untuk mengklasifikasikan penutup lahan dengan menggunakan algoritma Random forest. Sumber: Jensen (2015, hal. 442) modifikasi dari Huang dan Jensen (1997).....                                  | 25 |
| <b>Gambar 2.5</b>  | Representasi dari spectral feature space antara saluran inframerah dan saluran merah yang menunjukkan perkembangan tanaman pertanian. Sumber: (Richards, 2013b, hal 190).....  | 27 |
| <b>Gambar 2.6</b>  | Kerangka pemikiran yang digunakan dalam penelitian. ....   | 38 |
| <b>Gambar 3.1</b>  | Diagram alir yang digunakan pada penelitian. Diagram tersebut menunjukkan proses penelitian dari awal sampai akhir.....  | 40 |
| <b>Gambar 3.2</b>  | Peta lokasi penelitian yang menunjukkan sebagian wilayah Kabupaten Garut, bagian selatan. Area yang dipetakan ditunjukkan pada kotak yang berwarna merah .....   | 42 |
| <b>Gambar 4.1</b>  | Saluran hasil transformasi Tasseled Cap serta komposit warna RGB yang dihasilkan.....  | 59 |
| <b>Gambar 4.2</b>  | Contoh perbandingan antara tampilan citra Landsat 8 (atas) dan hasil transformasi Tasseled Cap (bawah). Terlihat bahwa lahan terbangun (kotak kuning) dan tanah terbuka memiliki pola spektral yang mirip.....                           | 60 |
| <b>Gambar 4.3</b>  | Perbandingan antara komposit warna false color (atas) dan hasil transformasi TC (bawah). Tranformasi TC memperlihatkan perbedaan yang jelas antara vegetasi lebat dan vegetasi jarang .....  | 61 |
| <b>Gambar 4.4</b>  | Peta Penutup lahan tentatif beserta lokasi sampel yang ditandai dengan titik berwarna putih.....   | 63 |
| <b>Gambar 4.5</b>  | Beberapa contoh foto sampel lapangan untuk kelas hutan lahan tinggi (HLT) .  | 65 |
| <b>Gambar 4.6</b>  | Perbandingan komposit TCT dan citra Landsat (a) yang menunjukkan perbedaan arah hadap lereng mempengaruhi nilai TCT. Komposit TCT juga dibandingkan dengan sampel lapangan kelas HLT menunjukkan warna biru yang lebih seragam (b) ..... | 66 |
| <b>Gambar 4.7</b>  | Beberapa contoh sampel perkebunan lahan kering .....   | 67 |
| <b>Gambar 4.8</b>  | Contoh bagaimana penutup lahan mempengaruhi komposit TCT. Pengaruh pohon kayu putih (a) dan pengaruh perbedaan fase tanam (b).....   | 68 |
| <b>Gambar 4.9</b>  | Contoh sampel yang menunjukkan lokasi perkebunan berkayu keras jenis tanaman sawit.....  | 69 |
| <b>Gambar 4.10</b> | Contoh lokasi perkebunan karet yang berhasil di temukan di lokasi penelitian .....   | 69 |



|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| <b>Gambar 4.11</b> | Contoh lokasi sampel yang menunjukkan perkebunan cengkeh.....  | 70 |
| <b>Gambar 4.12</b> | Tampilan peta komposit TCT dan perbandingannya dengan kondisi lapangan di kelas PBK beberapa jenis tanaman. Perkebunan sawit (a), perkebunan teh (b), dan perkebunan karet (c) .....   | 72 |
| <b>Gambar 4.13</b> | Contoh kelas SB yang ditemukan di lokasi penelitian. SB yang ditemukan pada bentukan lahan aeolin dalam bentuk gump pasir purba (a) dan SB yang ditemukan di wilayah perbukitan danudasional (b) .....   | 73 |
| <b>Gambar 4.14</b> | Lokasi sampel tanaman lahan basah (sawah).....   | 74 |
| <b>Gambar 4.15</b> | Beberapa sampel yang menunjukkan komposit TCT dan perbandingannya dengan kondisi lapangan .....  | 75 |
| <b>Gambar 4.16</b> | Perbandingan antara tampilan komposit TCT dan pasir putih (atas) serta pasir coklat/hitam (bawah).....   | 76 |
| <b>Gambar 4.17</b> | Sampel lokasi Hamparan Batuan/Pasir Alami di Kawah Gunung Papandayan serta perbandingannya dengan komposit TCT.....  | 77 |
| <b>Gambar 4.18</b> | Contoh tampilan kelas HR yang dapat diidentifikasi mengetahui pengetahuan lokal (kanan) serta perbandingannya dengan komposit TCT (kiri) .....   | 78 |
| <b>Gambar 4.19</b> | Salah satu sampel sungai yang berhasil dikunjungi melalui survei lapangan (kanan) dan perbandingannya dengan komposit TCT (kiri) .....   | 79 |
| <b>Gambar 4.20</b> | Salah satu sampel lokasi Lahan Terbuka Alami, di wilayah Tegal Alun, Gunung Papandayan.....  | 79 |
| <b>Gambar 4.21</b> | Persebaran poligon data latih yang digunakan untuk proses klasifikasi multispektral.....   | 82 |
| <b>Gambar 4.23</b> | Tumpang tindih antara peta penutup lahan tentatif dan citra Landsat-8 menunjukkan bahwa hutan yang memiliki tampilan gelap dan cerah perlu dibedakan terlebih dahulu .....   | 85 |
| <b>Gambar 4.24</b> | Contoh lokasi sampel perkebunan kelapa sawit (A), perkebunan karet (B), dan perkebunan teh (C). Citra PlanetScope digunakan untuk memberikan tampilan yang lebih bagus dari lokasi yang dijadikan sampel .....   | 85 |
| <b>Gambar 4.25</b> | Tampilan citra Landsat 8 yang menunjukkan sawah dengan fase tanam yang berbeda. Fase telah panen (kuning), fase tumbuh (merah), dan fase sedang diari (biru tua).....  | 86 |
| <b>Gambar 4.26</b> | Tampilan beberapa lahan perkebunan kering dan hijau (A), lahan perkebunan baru ditanam (B). Pola spektral setiap perkebunan tersebut juga ditunjukkan (c-e) .....  | 87 |
| <b>Gambar 4.27</b> | Tampilan citra Landsat dan google earth di salah satu kelas LTD yang berupa pabrik semen.....  | 88 |
| <b>Gambar 4.28</b> | Hasil matriks korelasi antar saran menggunakan metode analisis korelasi Pearson .....  | 89 |
| <b>Gambar 4.29</b> | Perbandingan hasil penutup lahan algoritma maximum likelihood pada multispektral (a dan d), transformasi TC (b dan e), dan integrasi data multispektral dan data TC (c dan f). Wilayah yang diperbesar ditunjukkan pada kotak berwarna hijau dan ung ..... | 92 |
| <b>Gambar 4.30</b> | Tampilan lebih dekat yang menunjukkan perbedaan hasil klasifikasi dengan data asli (a) dan skenario 2 (b) .....  | 93 |



|                    |  |     |
|--------------------|--|-----|
| <b>Gambar 4.31</b> | Hasil optimalisasi parameter jumlah pohon terhadap nilai rata – rata akurasi OOB pada klasifikasi data asli (a), skenario 1 (b), skenario 2(c), dan skenario 3 (d) .....   | 95  |
| <b>Gambar 4.32</b> | Hasil optimalisasi parameter variable per plot terhadap nilai rata – rata akurasi OOB pada klasifikasi data asli (a), skenario 1 (b), skenario 2(c), dan skenario 3 (d) .....  | 96  |
| <b>Gambar 4.33</b> | Kontribusi setiap saluran dalam model klasifikasi random forest dengan data multispektral (data asli) .....  | 97  |
| <b>Gambar 4.34</b> | Kontribusi setiap saluran dalam model klasifikasi random forest dengan data transformasi TC (Skenario 1) .....   | 98  |
| <b>Gambar 4.35</b> | Kontribusi setiap saluran dalam model klasifikasi random forest dengan kombinasi multispektral dan transformasi TC (skenario 2) .....  | 99  |
| <b>Gambar 4.36</b> | Kontribusi setiap saluran dalam model klasifikasi random forest dengan kombinasi multispektral, transformasi TC, dan data topografi (Skenario 3) .....   | 100 |
| <b>Gambar 4.37</b> | Perbandingan hasil penutup lahan algoritma Random Forest menggunakan data multispektral (a dan e), transformasi TC/skenario 1 (b dan f), integrasi data multispektral dan data TC/skenario 2 (c dan g), dan kombinasi dengan data topografi/skenario 3 (d dan h). Wilayah yang diperbesar ditunjukkan pada kotak berwarna hijau dan ungu ..... | 102 |
| <b>Gambar 4.38</b> | Persebaran data penguji akurasi yang diperoleh melalui interpretasi visual citra Landsat 8 dengan resolusi spasial 15 m .....  | 104 |
| <b>Gambar 4.39</b> | Perbandingan ketidaksepakatan kuantitas (quantity) dan ketidaksepakatan alokasi (exchange dan shift) setiap skenario integrasi .....   | 107 |
| <b>Gambar 4.40</b> | Ketidaksepakatan alokasi menunjukkan tingkat kesalahan klasifikasi antara skenario multispektral asli dan kombinasi antara data multispektral dan transformasi TC (skenario 2).....  | 110 |
| <b>Gambar 4.41</b> | Perbandingan hasil metrik ketidaksepakatan yang merincikan komponen alokasi (exchange dan shift) pada kelas penutup lahan tipe vegetasi hasil dari algoritma Maximum likelihood.....   | 110 |
| <b>Gambar 4.42</b> | Ketidaksepakatan alokasi menunjukkan tingkat kesalahan klasifikasi antara skenario data asli, skenario 2, dan skenario 3 .....   | 111 |
| <b>Gambar 4.43</b> | Perbandingan hasil metrik ketidaksepakatan yang merincikan komponen alokasi pada kelas penutup lahan tipe vegetasi hasil dari algoritma Random Forest .....  | 111 |
| <b>Gambar 4.44</b> | Ketidaksepakatan alokasi menunjukkan tingkat kesalahan klasifikasi antara skenario data asli dan skenario 2 pada penutup lahan tipe lahan terbangun dan tanah terbuka .....  | 112 |
| <b>Gambar 4.45</b> | Perbandingan hasil metrik ketidaksepakatan yang merincikan komponen alokasi pada penutup lahan tipe lahan terbangun dan tanah hasil dari algoritma Maximum likelihood .....  | 113 |
| <b>Gambar 4.46</b> | Ketidaksepakatan alokasi menunjukkan tingkat kesalahan klasifikasi tipe penutup lahan lahan terbangun dan tanah terbuka antara skenario klasifikasi pada algoritma random forest .....   | 114 |



|                    |  |     |
|--------------------|--|-----|
| <b>Gambar 4.47</b> | Perbandingan hasil metrik ketidaksepakatan yang merincikan komponen alokasi pada kelas penutup lahan tipe lahan terbangun dan tanah hasil dari algoritma random forest ..... | 114 |
| <b>Gambar 4.48</b> | Ketidaksepakatan alokasi menunjukkan tingkat kesalahan klasifikasi pada tipe penutup lahan badan air antara skenario klasifikasi maximum likelihood .....                    | 115 |
| <b>Gambar 4.49</b> | Perbandingan hasil metrik ketidaksepakatan pada kelas penutup lahan tipe badan air hasil dari algoritma maximum likelihood.....  | 116 |
| <b>Gambar 4.50</b> | Ketidaksepakatan alokasi menunjukkan tingkat kesalahan klasifikasi antara skenario klasifikasi random forest dengan tipe penutup lahan badan air.....                        | 116 |
| <b>Gambar 4.51</b> | Perbandingan hasil metrik ketidaksepakatan pada kelas penutup lahan tipe badan air diantara skenario klasifikasi menggunakan random forest.....                              | 117 |
| <b>Gambar 4.52</b> | indeks wilayah untuk perbandingan hasil visual skenario pemetaan penutup lahan .....   | 118 |
| <b>Gambar 4.53</b> | Perbandingan antara penutup lahan menggunakan saluran multispektral pada algoritma ML (a) dan RF (b).....  | 119 |
| <b>Gambar 4.54</b> | Perbandingan peta penutup lahan hasil integrasi menggunakan skenario 1 pada algoritma ML (a) dan algoritma RF (b).....   | 119 |
| <b>Gambar 4.55</b> | Perbandingan peta hasil skenario 2 di area 1 pada algoritma ML (a) dan algoritma RF (b) .....  | 120 |
| <b>Gambar 4.56</b> | Perbandingan hasil penutup lahan skenario 2 (a) dan skenario 3 (b) pada algoritma RF di area 1 .....   | 121 |
| <b>Gambar 4.57</b> | Perbandingan hasil penutup lahan menggunakan data asli algoritma ML (a) dan RF (b).....  | 122 |
| <b>Gambar 4.58</b> | Perbandingan skenario hasil penutup lahan skenario 1 pada algoritma ML (a) dan RF (b) di area 2 .....  | 122 |
| <b>Gambar 4.59</b> | Perbandingan penutup lahan hasil skenario 2 pada algoritma ML (a) dan algoritma RF (b) di area 2 .....   | 123 |
| <b>Gambar 4.60</b> | Perbandingan tampilan skenario skenario 3 (a) dan skenario 2 (b) di area 2.  | 124 |