

PEMETAAN KEPADATAN ECENG GONDOK DI DANAU RAWA PENING BERBASIS NDVI DAN RANDOM FOREST MENGUNAKAN DATA UAV

Oleh : Muhlasah Novitasari Mara¹, Irfan Mujahidin², Budi Basuki Subagio³, Rizkha
Ajeng Rochmatika⁴

Jurusan Teknik Elektro^{1,2,3,4}, Politeknik Negeri Semarang Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Kota
Semarang, Jawa Tengah^{1,2,3,4}
muhlasah@polines.ac.id

Abstrak

Rehabilitasi ekosistem danau merupakan upaya penting dalam menjaga keseimbangan ekologi serta keberlanjutan sumber daya air tawar. Salah satu tantangan utama adalah pertumbuhan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), yang meskipun memiliki manfaat ekologis, dapat menjadi invasif dan mengganggu fungsi ekosistem jika kepadatannya tidak terkendali. Penelitian ini bertujuan mengintegrasikan indeks vegetasi Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dan algoritma Random Forest menggunakan citra multispektral dari pesawat nirawak (UAV) untuk memetakan dan mengestimasi kepadatan eceng gondok secara spasial. Metodologi penelitian mencakup survei lapangan untuk pengambilan data referensi, akuisisi citra UAV, perhitungan NDVI, pembuatan dataset berlabel, pelatihan model Random Forest, dan evaluasi akurasi menggunakan metrik precision, recall, F1-score, serta confusion matrix. Hasil penelitian menunjukkan model Random Forest mencapai akurasi keseluruhan 0,91. Kelas Air dan Padat terdeteksi dengan recall 0,99, sedangkan vegetasi Sedang memiliki recall lebih rendah (0,56), menunjukkan tantangan dalam mendeteksi kelas transisional. Peta tematik kepadatan vegetasi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar perencanaan rehabilitasi dan pengelolaan ekosistem danau secara berbasis data.

Kata kunci : NDVI, Random Forest, UAV, Estimasi Kepadatan Vegetasi, Rehabilitasi Ekosistem

Abstract (TNR 10 Bold)

Lake ecosystem rehabilitation is an essential effort to maintain ecological balance and the sustainability of freshwater resources. One of the main challenges is the proliferation of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), which, despite its ecological benefits, can become invasive and disrupt ecosystem functions if its density is not controlled. This study aims to integrate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Random Forest algorithm using multispectral imagery from Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) to map and estimate the spatial density of water hyacinth. The research methodology includes field surveys for reference data collection, UAV imagery acquisition, NDVI computation, creation of labeled datasets, Random Forest model training, and accuracy evaluation using precision, recall, F1-score, and confusion matrix metrics. The results indicate that the Random Forest model achieved an overall accuracy of 0.91. The Water and Dense vegetation classes were detected with a recall of 0.99, whereas the Moderate vegetation class had a lower recall of 0.56, highlighting challenges in detecting transitional classes. The thematic vegetation density maps produced can serve as a basis for planning lake ecosystem rehabilitation and management in a data-driven manner.

Keywords : NDVI, Random Forest, UAV, Vegetation Density Estimation, Lake Ecosystem Rehabilitation

1. Latar Belakang

Danau Rawa Pening di Kabupaten Semarang merupakan ekosistem perairan penting yang berfungsi sebagai sumber daya air, irigasi, pariwisata, serta lokasi budidaya ikan. Namun, dalam beberapa dekade terakhir danau ini mengalami degradasi serius akibat sedimentasi, aktivitas manusia yang tidak berkelanjutan, dan pertumbuhan masif eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Data BBWS Pemali Juana menunjukkan bahwa

hampir 70% permukaan danau tertutup eceng gondok, yang mengakibatkan penurunan daya tampung air hingga 50%, menghambat aktivitas nelayan, menurunkan kualitas air, serta mengancam keanekaragaman hayati perairan. Pertumbuhan eceng gondok yang sangat cepat, terutama di perairan dengan limpasan nutrisi tinggi, menurunkan kadar oksigen terlarut dan menyebabkan gangguan ekosistem maupun sosial-ekonomi masyarakat sekitar.



Gambar 1. Eceng gondok merusak ekosistem lingkungan dan mengganggu nelayan di rawa pening

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengembangkan metode pemantauan vegetasi invasif menggunakan citra satelit dan algoritma machine learning. NDVI terbukti efektif untuk mendeteksi vegetasi akuatik, dan Random Forest menunjukkan keunggulan dalam klasifikasi tutupan lahan. Namun, citra satelit kerap memiliki keterbatasan resolusi spasial sehingga kurang optimal untuk pemetaan vegetasi pada skala danau kecil seperti Rawa Pening. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penggunaan drone dapat menghasilkan data spasial beresolusi tinggi yang mampu meningkatkan ketelitian pemetaan vegetasi, terutama bila dikombinasikan dengan algoritma klasifikasi berbasis machine learning. Temuan dari beberapa studi juga menunjukkan bahwa integrasi NDVI dan Random Forest dapat mencapai akurasi lebih dari 90% dalam klasifikasi vegetasi invasif.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi pemanfaatan citra pesawat nirawak dalam mendeteksi dan mengestimasi kepadatan eceng gondok melalui pendekatan NDVI dan Random Forest. Penelitian ini bertujuan menghasilkan peta tematik kepadatan vegetasi yang akurat dan dapat digunakan sebagai dasar perencanaan rehabilitasi ekosistem danau. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi keberhasilan metode

tersebut, seperti kualitas citra, parameter algoritma, serta kebutuhan validasi lapangan.

Hipotesis utama dari penelitian ini adalah bahwa integrasi NDVI dan Random Forest pada citra drone mampu mengidentifikasi dan memetakan eceng gondok di Danau Rawa Pening dengan akurasi tinggi, sekaligus memberikan hasil yang lebih presisi dibandingkan metode konvensional maupun citra satelit beresolusi rendah. Kombinasi kedua metode tersebut diyakini dapat memberikan representasi spasial yang lebih detail mengenai distribusi dan kepadatan vegetasi invasif, sehingga mampu mendukung strategi pengelolaan yang lebih efektif dan berbasis data.

2. Tinjauan Pustaka

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan salah satu indeks vegetasi yang paling luas digunakan dalam analisis penginderaan jauh untuk mendeteksi keberadaan dan kondisi vegetasi. Indeks ini memanfaatkan karakteristik reflektansi spektral vegetasi pada panjang gelombang cahaya tampak dan inframerah-dekat, di mana daun hijau menyerap sebagian besar radiasi pada pita merah (red) dan memantulkan radiasi dalam jumlah tinggi pada pita inframerah-dekat (NIR). Perbedaan karakteristik spektral ini memungkinkan NDVI mengidentifikasi tingkat kesehatan dan kepadatan vegetasi. NDVI dihitung dengan menggunakan rumus:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Nilai NDVI yang berkisar antara -1 hingga +1 memberikan representasi kondisi vegetasi, di mana nilai mendekati +1 menunjukkan vegetasi yang sehat dan padat, sedangkan nilai mendekati nol atau negatif menandakan ketidakhadiran vegetasi atau keberadaan objek non-vegetatif seperti air dan permukaan terbangun. Berbagai studi terdahulu, seperti Gitelson et al. (2012) serta Huete et al. (2002), menegaskan efektivitas NDVI dalam memantau perubahan vegetasi secara spasial dan temporal. Dalam

konteks vegetasi invasif, penelitian Jones et al. (2015) dan Villa et al. (2021) menunjukkan bahwa NDVI mampu membedakan vegetasi invasif seperti eceng gondok dari vegetasi asli dengan akurasi tinggi, terutama ketika dikombinasikan dengan data multispektral beresolusi tinggi berbasis UAV.

Selain NDVI, algoritma Random Forest menjadi elemen penting dalam analisis klasifikasi citra multispektral karena kemampuannya menangani data besar, multidimensional, serta hubungan non-linear antar fitur. Random Forest bekerja dengan membangun sejumlah pohon keputusan melalui mekanisme pengambilan sampel acak dan rata-rata prediksi, sehingga mampu meminimalkan overfitting dan mempertahankan akurasi tinggi. Belgio dan Drăguț (2016) menunjukkan keunggulan Random Forest dibandingkan SVM dan k-NN dalam klasifikasi tutupan lahan. Penelitian lain seperti Rodriguez-Galiano et al. (2012), Mutanga et al. (2012), dan Feng et al. (2015) juga menyatakan bahwa Random Forest sangat efektif dalam pemetaan vegetasi, termasuk vegetasi akuatik invasif, terutama ketika dikombinasikan dengan indeks spektral seperti NDVI. Dalam pemetaan berbasis UAV, Random Forest terbukti memberikan akurasi stabil pada berbagai skala, sehingga relevan untuk analisis vegetasi detail seperti eceng gondok. Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sendiri merupakan tanaman akuatik invasif dengan tingkat pertumbuhan yang sangat cepat dan berpotensi besar menimbulkan degradasi ekosistem perairan. Pertumbuhan tanaman ini mampu menutupi permukaan danau, menghambat penetrasi cahaya, menurunkan fotosintesis organisme air, serta menurunkan kadar oksigen terlarut yang berdampak pada kematian biota akuatik. Selain menurunnya kualitas air, akumulasi biomassa eceng gondok yang mati turut mempercepat sedimentasi dan pendangkalan badan air, yang pada akhirnya mengganggu perikanan, navigasi,

dan aktivitas ekonomi masyarakat. Penelitian Siahaan (2016), Desky et al. (2020), dan Bilah (2017) mengonfirmasi dampak serius ini pada berbagai danau di Indonesia, termasuk Danau Rawa Pening yang beberapa kali tercatat mengalami invasi eceng gondok hingga menutupi lebih dari 70% permukaan danau pada musim kemarau.

Kondisi tersebut menjadikan pemetaan vegetasi invasif sebagai langkah penting dalam mendukung rehabilitasi ekosistem danau. Pemetaan berbasis penginderaan jauh, seperti disebutkan oleh Lehner dan Döll (2004) serta Villa et al. (2021), memungkinkan identifikasi area degradasi secara efisien melalui citra multispektral beresolusi tinggi. Integrasi NDVI dan Random Forest dalam klasifikasi citra UAV memberikan pendekatan optimal untuk memetakan distribusi dan kepadatan eceng gondok secara rinci. Dengan demikian, area prioritas rehabilitasi dapat diidentifikasi secara akurat untuk mendukung perencanaan konservasi dan pengelolaan ekosistem danau secara berkelanjutan. Temuan Benar dari Mutanga et al. (2012) dan Eigenbrod et al. (2018) juga menegaskan bahwa kombinasi indeks vegetasi dan algoritma machine learning mampu meningkatkan presisi pemetaan vegetasi invasif, sehingga lebih efektif digunakan dibandingkan pemantauan manual atau citra satelit beresolusi rendah.

Penelitian mengenai pemantauan vegetasi invasif seperti eceng gondok telah berkembang pesat seiring kemajuan teknologi penginderaan jauh dan algoritma pembelajaran mesin. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa kombinasi data pesawat nirawak (UAV), indeks vegetasi seperti NDVI, serta algoritma klasifikasi seperti Random Forest mampu meningkatkan akurasi deteksi dan pemetaan vegetasi secara signifikan, khususnya untuk area dengan skala lokal seperti Danau Rawa Pening. Studi oleh Pádua et al. (2022) menegaskan bahwa

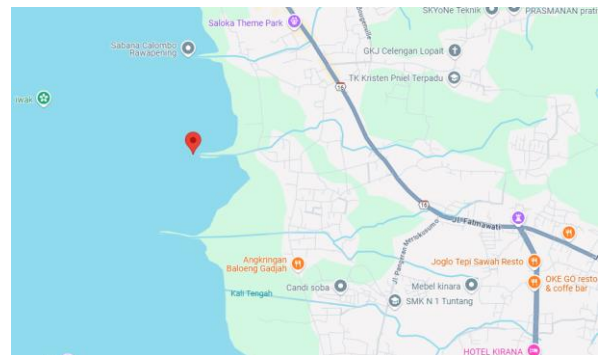
UAV memiliki keunggulan dalam menghasilkan citra resolusi tinggi yang dapat mendeteksi patch eceng gondok berukuran kecil, yang sering kali tidak teridentifikasi pada citra satelit seperti Sentinel-2. Algoritma Random Forest dalam penelitian tersebut juga menunjukkan akurasi klasifikasi yang lebih tinggi dibandingkan metode lain seperti SVM dan KNN. Penelitian oleh Villa et al. (2021) juga menemukan bahwa kualitas pemetaan vegetasi berbasis UAV sedikit lebih unggul dibandingkan pesawat berawak, terutama untuk area terbatas. Sementara itu, penelitian menggunakan citra satelit resolusi menengah seperti Landsat 8 (Dube et al., 2017) tetap bermanfaat untuk pemantauan makro, namun tidak ideal untuk pemetaan detail vegetasi skala kecil. Secara umum, literatur mengonfirmasi bahwa integrasi NDVI dan Random Forest berbasis UAV memberikan kombinasi optimal untuk memetakan vegetasi invasif secara detail, cepat, dan akurat. NDVI menjadi indikator efektif untuk membedakan vegetasi sehat dari lingkungan sekitarnya, sedangkan Random Forest unggul dalam mengolah data spektral yang kompleks. Pendekatan ini dinilai lebih efisien dibandingkan survei manual maupun penginderaan jauh satelit resolusi rendah, terutama untuk area.

3. Hasil dan Pembahasan

Tahap awal penelitian dilakukan melalui survei lapangan untuk memperoleh data referensi (ground truth) yang digunakan sebagai dasar pelatihan model estimasi kepadatan eceng gondok. Survei dilakukan dengan pendekatan sistematis yang mencakup observasi visual, identifikasi lokasi prioritas, serta pemetaan area dengan tingkat pertumbuhan eceng gondok yang tinggi. Pengambilan data dilakukan di Desa Kesongo karena posisinya yang sangat dekat dengan area rawa yang menjadi habitat utama eceng gondok, sehingga data yang diperoleh mencerminkan kondisi ekosistem secara representatif (Gambar 2).



Gambar 2. Lokasi Pengambilan Data
Tahap kedua adalah penerapan pesawat nirawak (drone) untuk mengakuisisi citra multispektral di area survei. Drone dilengkapi sensor yang mampu merekam kanal merah (Red) dan inframerah-dekat (Near-Infrared/NIR) yang merupakan dasar perhitungan NDVI. Pengambilan data dilakukan pada lokasi dengan koordinat $7^{\circ}17'21.3''\text{S}$ dan $110^{\circ}27'07.2''\text{E}$ (Gambar 3).



Gambar 3. Area Lokasi pelaksanaan riset dan pengambilan data

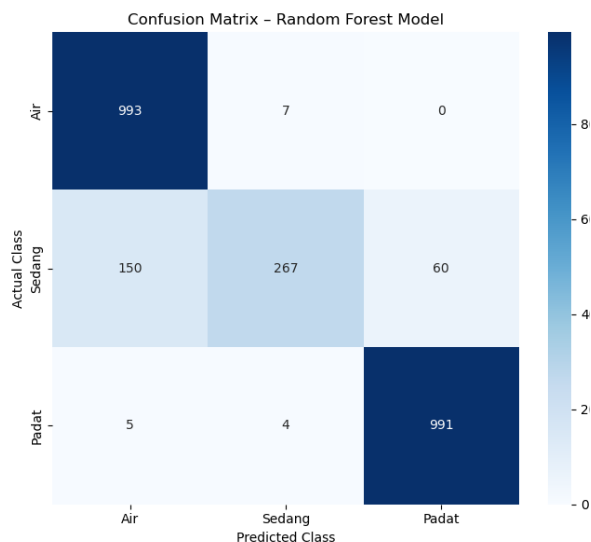
Tahap ketiga melibatkan rekonstruksi NDVI dari citra hasil drone serta pembuatan dataset fitur. Data NDVI digunakan sebagai indikator vegetasi, sedangkan fitur tambahan seperti Excess Green (ExG), Green-Red Ratio (GR), Green Index (GI), tekstur lokal (G_{mean} , G_{std}), jarak dari area air (distance transform), dan ukuran klaster vegetasi (cluster size) digunakan untuk memperkuat kemampuan model dalam membedakan tiga tingkat kepadatan vegetasi: air / tidak bervegetasi, vegetasi sedang dan vegetasi padat.

Semua fitur kemudian disusun menjadi training dataset berlabel untuk proses klasifikasi. Model selanjutnya dilatih menggunakan algoritma Random Forest, dengan pembagian data 70% untuk pelatihan dan 30% untuk pengujian. Evaluasi model dilakukan menggunakan metrik *precision*, *recall*, *F1-score*, dan *confusion matrix*. Evaluasi model adalah sebagai berikut:

Classification report:

	precision	recall	f1-score	support
Air	0.86	0.99	0.92	1000
Sedang	0.96	0.56	0.71	477
Padat	0.94	0.99	0.97	1000
accuracy	0.91			2477
macro avg	0.92	0.85	0.87	2477
weighted avg	0.91	0.91	0.90	2477

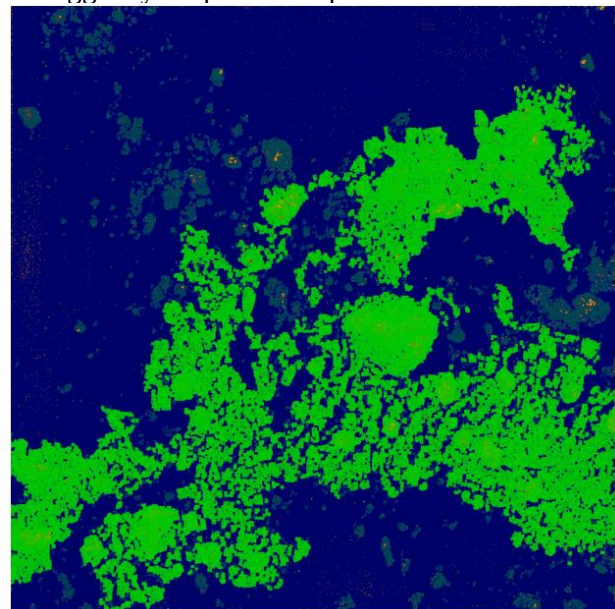
Dengan confusion matriks dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Confusion Matriks

Model mencapai akurasi keseluruhan 0.91, menunjukkan performa yang sangat baik untuk aplikasi klasifikasi vegetasi berbasis citra drone. *Recall* kelas air sebesar 0.99 menunjukkan model hampir sempurna mengenali area air. *Precision* 0.86 menandakan sebagian kecil area vegetasi sedang diklasifikasikan sebagai air. Secara visual, air memiliki ciri yang sangat

khas: warna gelap, dominan biru, dan tekstur halus. Hal ini menunjukkan bahwa kelas air sangat mudah dikenali oleh model. *Recall* Kelas Padat (Dense Vegetation) adalah 0.99 dan *F1-score* 0.97 menunjukkan model sangat akurat dalam mendeteksi enceng gondok padat. Karakteristik padat: hijau gelap, tekstur kasar, cluster besar, hampir menutupi permukaan air. Dengan demikian, kelas padat adalah kelas paling stabil dan paling mudah diprediksi. *Precision* Kelas Sedang (Moderate Vegetation) sangat tinggi (0.96) namun *Recall* rendah (0.56). hal ini mengindikasikan bahwa banyak area yang sebenarnya “Sedang” diklasifikasikan sebagai Air atau Padat. Penyebab kesalahan tersebut adalah: Vegetasi sedang memiliki ciri campuran, sehingga sulit dibedakan hanya dengan RGB & NDVI. Selain itu beberapa area sedangkan memiliki ExG rendah sehingga mirip air dan beberapa area sedang memiliki cluster size besar sehingga mirip padat. Secara ekologis, transisi dari air ke sedang ke padat memang gradual. Gambat peta tematik hasil prediksi Random Forest dengan peta sesungguhnya dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Map Tematik Hasil Prediksi dan Data Sesungguhnya

4. Penutup

Dari rangkaian proses penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Model Random Forest berhasil

menghasilkan akurasi 0.91, menunjukkan performa yang kuat dalam mengestimasi kepadatan vegetasi eceng gondok berbasis citra drone.

2. Berdasarkan confusion matrix, kelas Air dan Padat terdeteksi sangat baik dengan recall 0.99, menunjukkan karakter visual keduanya mudah dibedakan oleh model. Namun, kelas Sedang memiliki recall rendah (0.56) karena karakteristiknya berada di antara Air dan Padat sehingga lebih sulit dipisahkan secara visual maupun spektral.

3. Secara keseluruhan, model mampu mengidentifikasi area vegetasi padat dan air dengan sangat akurat, tetapi masih memerlukan peningkatan pada deteksi vegetasi sedang yang secara alami bersifat transisional.

5. Daftar Pustaka

Abbasi, M. N., Aziz, A., Aljaloud, K. A., Chishti, A. R., Aladadi, Y. T., & Hussain, R. (2023). A Close Proximity 2-Element MIMO Antenna Using Optically Transparent Wired-Metal Mesh and Polyethylene Terephthalate Material. *IEEE Access*, 11. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3298568>

Abdulkarim, Y. I., Deng, L., Awl, H. N., Muhammadsharif, F. F., Altintas, O., Karaaslan, M., & Luo, H. (2020). Design of a broadband coplanar waveguide-fed antenna incorporating organic solar cells with 100% insolation for ku band satellite communication. *Materials*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/ma13010142>

Abdullah, N., Al-wesabi, O. A., Mohammed, B. A., Al-Mekhlafi, Z. G., Alazmi, M., Alsaffar, M., Baklizi, M., & Sumari, P. (2022). IoT-Based Waste Management System in Formal and Informal Public Areas in Mecca. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20). <https://doi.org/10.3390/ijerph192013066>

Ahmed, A. M., Thantrige, U. S. K. P. M., Gamal, A. E., & Sezgin, A. (2021). Deep Learning for DOA Estimation in MIMO Radar Systems via Emulation of Large Antenna Arrays. *IEEE Communications Letters*, 25(5). <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2021.3053114>

3114

Al-Janabi, F., Singh, M. J., & Pharwaha, A. P. S. (2021). Development of microstrip antenna for satellite application at Ku/Ka band. *Journal of Communications*, 16(4). <https://doi.org/10.12720/jcm.16.4.118-125>

Arum, W. F., & Nisa Ismulia, K. (2022). Analysis Of The Composite Properties Of Ramp/Lycal Fiber Variation Of Layer 1, 2, And 3 Fiber On Structural Materials Of Lsu Aircraft. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 8(2). <https://doi.org/10.56521/teknika.v8i2.684>

Arya, A. K., Kim, S., Ko, K., & Kim, S. (2022). Antenna for IoT-Based Future Advanced (5G) Railway Communication with End-Fire Radiation. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(9). <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3113698>

Asif, S. M., Iftikhar, A., Hansen, J. W., Khan, M. S., Ewert, D. L., & Braaten, B. D. (2019). A Novel RF-Powered Wireless Pacing via a Rectenna-Based Pacemaker and a Wearable Transmit-Antenna Array. *IEEE Access*, 7. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2885620>

Balanis, C. A. (2016). *Antenna Theory: Analysis and Design*, Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc.

Balanis, C. E. (2005). *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd Edition—Constantine A. Balanis. Book. <https://doi.org/10.1049/ep.1982.0113>

Banda, L., Mzyece, M., & Mekuria, F. (2022). 5G Business Models for Mobile Network Operators—A Survey. *IEEE Access*, 10. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3205011>

Chiang, Y. C., & Chen, C. Y. (2001). Design of a wide-band lumped-element 3-dB quadrature coupler. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. <https://doi.org/10.1109/22.910551>

Elbir, A. M., & Mishra, K. V. (2020). Joint antenna selection and hybrid beamformer design using unquantized and quantized deep learning networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*. <https://doi.org/10.1109/TWC.2019.2956146>

- Frank, H., Colman-Meixner, C., Assis, K. D. R., Yan, S., & Simeonidou, D. (2022). Techno-Economic Analysis of 5G Non-Public Network Architectures. *IEEE Access*, 10. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3187727>
- Gao, Z., Xu, C., Tian, X., Wang, J., Tian, C., Yang, B., Qu, S., & Fan, Q. (2021). Ultra-wideband flexible transparent metamaterial with wide-angle microwave absorption and low infrared emissivity. *Optics Express*, 29(14). <https://doi.org/10.1364/oe.428184>
- Hallad, S. A., Ganachari, S. V., Soudagar, M. E. M., Banapurmath, N. R., Hunashyal, A. M., Fattah, I. M. R., Hussain, F., Mujtaba, M. A., Afzal, A., Kabir, M. S., & Elfasakhany, A. (2022). Investigation of flexural properties of epoxy composite by utilizing graphene nanofillers and natural hemp fibre reinforcement. *Polymers and Polymer Composites*, 30. <https://doi.org/10.1177/09673911221093646>
- Han, Y., Zhu, L., Bo, Y., Che, W., & Li, B. (2020). Novel Low-RCS Circularly Polarized Antenna Arrays via Frequency-Selective Absorber. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. <https://doi.org/10.1109/TAP.2019.2939845>
- Hu, T., He, P., Yang, Z., Wang, W., Zhang, H., Shao, L., & Lü, F. (2022). Emission of airborne microplastics from municipal solid waste transfer stations in downtown. *Science of the Total Environment*, 828. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154400>
- Hu, Y. Y., Sun, S., Su, H. J., Yang, S., & Hu, J. (2021). Dual-Beam Rectenna Based on A Short Series-Coupled Patch Array. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. <https://doi.org/10.1109/TAP.2021.3069425>
- Huang, H. C., & Lu, J. (2021). Evolution of Innovative 5G Millimeter-Wave Antenna Designs Integrating Non-Millimeter-Wave Antenna Functions Based on Antenna-in-Package (AiP) Solution to Cellular Phones. *IEEE Access*, 9. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3077309>
- Ikram, M., Sultan, K. S., Abbosh, A. M., & Nguyen-Trong, N. (2022). Sub-6 GHz and mm-Wave 5G Vehicle-to-Everything (5G-V2X) MIMO Antenna Array. *IEEE Access*, 10. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3172931>
- Jishi, G., Yaowu, S., Lifei, D., Lanxiang, Z., & Hongwei, S. (2018). The iterative search approach DOA estimation of monostatic L-shaped array MIMO radar. *Journal of Algorithms and Computational Technology*, 12(2). <https://doi.org/10.1177/1748301817751482>
- Prasetya, D. A., Sanusi, A., Chandrarin, G., Roikhah, E., Mujahidin, I., & Arifuddin, R. (2019). Community Culture Improvisation Regarding Waste Management Systems and Per Capita Income Increase. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 54(6).
- Prasetya, D. A., Sanusi, A., Chandrarin, G., Roikhah, E., Mujahidin, I., & Arifuddin, R. (2020). Waste Management to Produce Fuel Renewable Energy for Economic Support on The MSMEs and Public People. *Solid State Technology*, 63(5), 7311–7317.