

Alat Pengukur Laju Korosi Tembaga American Society for Testing Materials (ASTM) menggunakan Metode Colour Classifier

Budhy Setiawan¹, Gillang Al Azhar², Irfin Sandra Asti³, Surya Fitrah Adittian⁴

¹,Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No.9 , Kota Malang, Indonesia

²,Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No.9 , Kota Malang, Indonesia

³,Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No.9 , Kota Malang, Indonesia

⁴,Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No.9 , Kota Malang, Indonesia

¹ budhy.setiawan@polinema.ac.id; ² gillang_al_azhar@polinema.ac.id;

³irfinsandra@polinema.ac.id; ⁴suryaadittian@gmail.com;

INFO ARTIKEL

Histori Artikel

Pengajuan 2024-09-09

Diperbaiki 2024-12-16

Diterima 2024-12-20

Kata Kunci

Webcam

ASTM D130

Jetson Nano

K-Nearest Neighbor (KNN)

ABSTRAK

Tembaga merupakan logam dengan kekuatan mekanik dan konduktivitas listrik yang tinggi, sehingga sering digunakan dalam industri minyak dan gas. Namun, tembaga rentan terhadap korosi akibat paparan lingkungan agresif seperti air laut dan senyawa kimia korosif. Penelitian ini mengembangkan sistem pengukur laju korosi tembaga menggunakan metode ASTM D130 yang dikombinasikan dengan algoritma Colour Classifier dan Jetson Nano. Sistem ini menggunakan webcam untuk mendeteksi perubahan warna pada spesimen tembaga yang kemudian diklasifikasikan oleh Jetson Nano berdasarkan tingkat keparahan korosi. Dari proses yang telah dilalui didapatkan bahwa metode *colour classifier* yang menggunakan algoritma KNN didapatkan dengan menggunakan K=7 sebesar 70%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini dengan semakin banyak pembandingnya maka semakin besar kemungkinan akurat, serta memberikan solusi praktis untuk pemantauan kondisi tembaga secara real-time tanpa intervensi manusia. Integrasi teknologi ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan sistem pemantauan yang lebih terjangkau dan handal dalam industri minyak dan gas.

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi [CC-BY-SA](#).



1. Pendahuluan

Deteksi dini korosi tembaga penting untuk mencegah kerusakan lebih lanjut dan memastikan keandalan material, terutama dalam aplikasi industri dan infrastruktur. Menurut Mendoza et al. (2020), korosi sering terjadi di kapal selama pengoperasian, terutama pada bagian yang kontak langsung dengan udara bebas dan air laut, yang memicu terjadinya korosi.[1] Korosi yang tidak terdeteksi dapat menyebabkan kegagalan material, yang pada akhirnya bisa menimbulkan risiko keselamatan dan biaya perbaikan yang tinggi. Oleh karena itu, pemantauan korosi secara rutin sangat diperlukan untuk menjaga agar struktur dan peralatan yang menggunakan tembaga tetap berfungsi dengan baik.

Metode manual untuk mengukur korosi tembaga memakan waktu dan menghasilkan hasil yang kurang konsisten, sehingga menghambat pemantauan dan upaya pencegahan. Masalah ini berdampak pada industri konstruksi, manufaktur, dan infrastruktur, serta menyulitkan teknisi dan insinyur dalam pemeliharaan dan evaluasi material. Masalah ini juga muncul pada saat evaluasi korosi dilakukan, baik dalam situasi pemeliharaan rutin maupun saat terjadi kerusakan yang tiba-tiba. Penilaian ini sering dilakukan di lokasi proyek atau fasilitas industri di mana tembaga digunakan, dan terkadang dalam kondisi lingkungan yang bervariasi. Sehingga, penting untuk mengidentifikasi dan mengukur korosi untuk mencegah kerusakan lebih lanjut yang dapat berdampak pada keamanan dan umur panjang material.

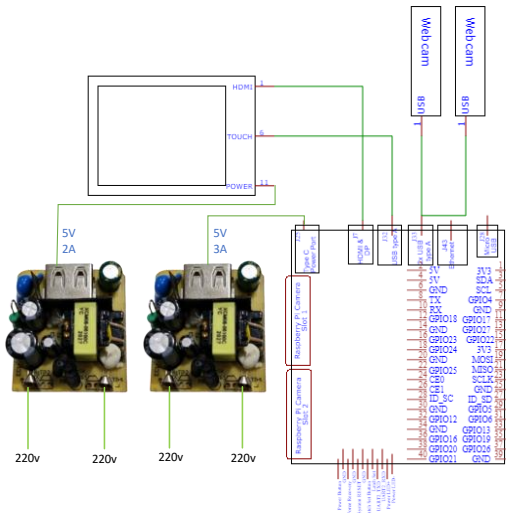
Menurut Reid dan Smith (2018), uji strip tembaga ASTM D130 adalah standar industri untuk menguji sifat korosif produk minyak bumi terhadap tembaga. Selain itu, ASTM D130 menggunakan skala klasifikasi visual yang jelas dan telah diuji luas dalam industri, memungkinkan evaluasi korosi berdasarkan perubahan warna pada spesimen uji. Standar ini sangat relevan di industri seperti minyak, gas, dan bahan bakar, yang memerlukan evaluasi kualitas bahan yang bersentuhan dengan logam tembaga. Standar ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mencegah pelepasan produk minyak bumi yang dapat merusak mesin kendaraan dan komponen sistem distribusi. Metode pengujian ini melibatkan pencelupan strip tembaga yang telah disiapkan ke dalam larutan uji selama waktu dan suhu tertentu, diikuti dengan penilaian korosi menggunakan standar yang ditetapkan.[2]

Maka dari itu, standar ASTM D130 memberikan pedoman yang jelas untuk penilaian korosi tembaga. Oleh karena itu, ASTM D130 merupakan standar internasional yang banyak dipakai dalam pengujian tingkat korosi pada logam, khususnya untuk mengukur pengaruh zat korosif pada tembaga dan paduan tembaga. ASTM D130 memiliki 12 kelompok klasifikasi warna. Standar ini memberikan prosedur pengujian yang terperinci sehingga hasilnya lebih konsisten dan akurat. Namun, implementasi praktis dari standar ini sering kali terbatas pada metode yang kurang efisien dan memerlukan kehadiran fisik di lokasi dan hasil bisa tidak standar karena seseorang yang melakukan pengecekan bukan orang yang sama.

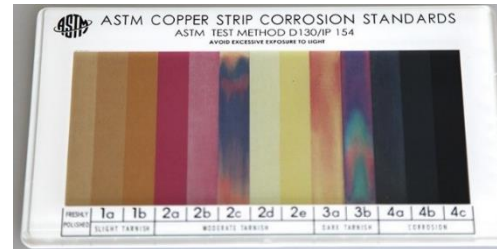
Untuk mengatasi hal ini, teknologi canggih seperti *Colour Classifier* dapat digunakan untuk menyediakan indikator visual yang jelas dan objektif mengenai tingkat keparahan korosi tanpa memerlukan intervensi manual langsung. Memanfaatkan Jetson Nano sebagai sistem pemrosesan data, alat yang dirancang dapat menyediakan akses dan pengelolaan data secara real-time melalui jaringan. Hal ini memungkinkan pemantauan kondisi tembaga secara langsung dan memungkinkan tindakan pencegahan yang lebih cepat. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan alat pengukur dan pengklasifikasi korosi tembaga yang memanfaatkan teknologi untuk memberikan solusi yang lebih praktis dalam pemantauan dan pemeliharaan material tembaga sesuai dengan standar ASTM D130.

2. Metode penelitian

Alat Pengukur Laju Korosi Tembaga *American Society For Testing Materials (ASTM)* menggunakan perangkat utama yaitu Jetson Nano sebagai mikrokomputer. Dan ditunjang dengan Webcam, LCD, sumber daya dan kabel HDMI. Gambar 1 menunjukkan rangkaian elektronik dari alat. Berikut merupakan spesifikasi elektroniknya, yaitu: Tegangan Kerja 5 VDC, Jenis prosesor Nvidia Jetson Nano Display LCD HDMI Display (H) 7inch dan Jenis webcam Microsoft Lifecam Studio. Sedangkan software menggunakan Linux sebagai OS untuk menjalankan sistem. Metode yang digunakan untuk klasifikasi warna yaitu algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) yang merupakan sebuah metode untuk melakukan klasifikasi terhadap objek berdasarkan dari data pembelajaran yang jaraknya paling dekat dengan objek tersebut. KNN merupakan algoritma supervised learning dimana hasil dari query instance yang baru diklasifikasi berdasarkan mayoritas dari kategori pada algoritma KNN. Dimana kelas yang paling banyak muncul yang nantinya akan menjadi kelas hasil atau classified/terklasifikasikan. Data training yang digunakan adalah data warna dari ASTM 130. Terdapat 12 warna klasifikasi ASTM 130 yang ditunjukkan pada Gambar 2. Setiap gambar terdiri dari piksel-piksel yang memiliki nilai warna. Warna pada setiap piksel biasanya direpresentasikan dalam model RGB (Red, Green, Blue), di mana setiap warna adalah kombinasi dari tiga komponen warna dasar ini. Mean RGB memberikan gambaran umum tentang warna dominan dalam gambar tersebut.



Gambar 1. Rangkaian Elektrik Alat



Gambar 2. Rangkaian Elektrik Alat

Rata-rata Merah (Mean R): $\mu_R = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i$, **Rata-rata Merah (Mean G):** $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G_i$, **Rata-rata Merah (Mean B):** $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N B_i$ di mana R_i , G_i , dan B_i adalah nilai intensitas merah, hijau, dan biru dari piksel ke- i , dan N adalah jumlah total piksel. Standar deviasi warna mengukur seberapa tersebar nilai-nilai intensitas warna di sekitar mean RGB. Ini memberikan gambaran tentang variasi warna dalam gambar. Standar deviasi dihitung untuk setiap komponen warna (R, G, B). **Standar Deviasi Merah (StdDev R):** $\sigma_R = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_i - \mu_R)^2}$ **Standar Deviasi Hijau (StdDev G):** $\sigma_G = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_i - \mu_G)^2}$ **Standar Deviasi Biru (StdDev B):** $\sigma_B = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (B_i - \mu_B)^2}$. Setiap kelompok warna ASTM 130 memiliki nilai warna masing-masing sehingga dapat digunakan untuk data *training*. Pada Tabel 1 Menunjukkan data *training* yang diperoleh dari pengambilan gambar ASTM D130.

Tabel 1. Data Training Klasifikasi Warna ASTM 130

| Class | stdR | stdG | stdB | meanR | meanG | meanB |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Fresh | 25.02556 | 24.03009 | 24.43282 | 180.9954 | 179.9573 | 223.6759 |
| Fresh | 22.57998 | 21.19666 | 22.09735 | 140.8651 | 165.3337 | 218.7247 |
| Fresh | 24.05288 | 22.22155 | 19.42514 | 192.4257 | 195.04 | 237.5897 |
| Fresh | 21.13113 | 20.62902 | 24.41394 | 139.6741 | 166.1891 | 217.8777 |
| Fresh | 14.55464 | 14.12 | 13.50445 | 209.8217 | 204.2394 | 246.7897 |
| Fresh | 26.2699 | 23.9901 | 19.03541 | 176.363 | 197.0082 | 238.117 |
| Fresh | 23.48336 | 22.85764 | 26.5107 | 208.9387 | 204.6357 | 243.0815 |
| Fresh | 26.65062 | 25.70621 | 23.76244 | 174.6468 | 192.4805 | 234.6946 |
| 1a | 23.18361 | 23.04478 | 21.23969 | 184.0643 | 187.331 | 238.7011 |
| 1a | 23.46529 | 22.7505 | 24.47017 | 143.5294 | 162.6308 | 219.4579 |
| 1a | 25.89808 | 24.05431 | 17.99686 | 198.6799 | 198.8103 | 242.979 |
| 1a | 19.89372 | 21.12381 | 26.14264 | 135.3234 | 159.5023 | 223.354 |
| 1a | 14.42385 | 12.25752 | 3.223645 | 212.6133 | 208.133 | 253.5289 |
| 1a | 24.36748 | 22.49075 | 15.86387 | 176.6426 | 196.9308 | 245.265 |
| 1a | 13.57359 | 13.10488 | 4.71711 | 208.6782 | 206.0036 | 251.6101 |
| 1a | 20.55749 | 21.28971 | 23.76079 | 149.2169 | 164.4667 | 225.037 |
| 1b | 25.10691 | 23.5737 | 18.42118 | 188.3838 | 189.7884 | 243.5456 |
| 1b | 19.27942 | 18.96588 | 23.58546 | 129.2203 | 153.8211 | 227.6476 |
| 1b | 28.80357 | 25.94754 | 17.94258 | 196.2329 | 194.9035 | 244.5724 |

| | | | | | | |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1b | 16.91698 | 16.87091 | 20.49498 | 135.1546 | 158.6534 | 230.317 |
| 1b | 14.32341 | 12.78971 | 2.601852 | 207.8581 | 205.2897 | 254.3638 |
| 1b | 25.01036 | 23.91496 | 17.29747 | 171.3773 | 190.3363 | 245.5645 |
| 1b | 13.45617 | 12.45186 | 3.42467 | 206.4192 | 199.8542 | 253.5195 |
| 1b | 24.56545 | 23.08334 | 16.08557 | 171.6851 | 191.7398 | 246.7161 |
| 2a | 24.51575 | 24.61225 | 14.45374 | 190.94 | 172.8209 | 247.1424 |
| 2a | 17.41095 | 15.71555 | 19.09226 | 142.197 | 145.8004 | 236.4534 |
| 2a | 15.37468 | 12.90867 | 23.65084 | 94.80305 | 80.82071 | 142.134 |
| 2a | 13.2953 | 12.87182 | 20.47633 | 126.9784 | 134.0378 | 225.7699 |
| 2a | 13.13058 | 14.69636 | 0.283743 | 205.0672 | 187.0005 | 254.9804 |
| 2a | 27.11763 | 25.28035 | 18.67587 | 171.2671 | 170.7158 | 244.8285 |
| 2a | 14.92106 | 18.36714 | 0.270388 | 209.1141 | 190.6128 | 254.9836 |
| 2a | 28.57147 | 26.65712 | 19.35796 | 170.588 | 170.3904 | 243.9706 |
| 2b | 23.81754 | 25.24292 | 18.25782 | 202.2912 | 188.1989 | 243.6346 |
| 2b | 19.93596 | 16.49534 | 19.96546 | 155.6013 | 154.7281 | 227.2235 |
| 2b | 22.36563 | 24.61451 | 18.13774 | 207.4076 | 190.8204 | 243.0806 |
| 2b | 19.63207 | 16.65719 | 20.95685 | 154.1321 | 155.2746 | 227.8478 |
| 2b | 10.75571 | 12.8634 | 2.750148 | 212.6513 | 197.6906 | 253.71 |
| 2b | 29.07521 | 27.69423 | 24.25197 | 190.3399 | 180.1541 | 238.4912 |
| 2b | 9.028463 | 12.17174 | 2.093267 | 219.8518 | 203.7966 | 254.1954 |
| 2b | 30.44598 | 27.57471 | 23.41913 | 187.2416 | 180.6488 | 239.7046 |
| 2c | 17.39871 | 21.5824 | 27.81562 | 236.4574 | 190.3451 | 204.4435 |
| 2c | 18.15728 | 15.70195 | 32.56788 | 148.094 | 128.3808 | 146.7136 |
| 2c | 22.68332 | 23.67437 | 31.77028 | 218.9269 | 175.1597 | 191.4729 |
| 2c | 19.76793 | 17.35366 | 33.95414 | 172.2071 | 156.5329 | 183.5627 |
| 2c | 12.35061 | 12.02826 | 17.14129 | 234.5861 | 186.0111 | 206.0406 |
| 2c | 27.82463 | 27.44084 | 40.5155 | 191.7973 | 168.8386 | 187.1848 |
| 2c | 11.40405 | 10.70629 | 16.57672 | 237.2177 | 195.3636 | 215.056 |
| 2c | 27.50275 | 28.49089 | 39.02578 | 200.1501 | 176.8618 | 193.1757 |
| 2d | 20.41668 | 20.91188 | 19.07993 | 220.647 | 219.8181 | 224.8274 |
| 2d | 23.42469 | 21.22027 | 21.87406 | 166.8547 | 179.2541 | 190.2797 |
| 2d | 22.89681 | 22.89779 | 22.08467 | 213.1905 | 212.0531 | 217.1647 |
| 2d | 22.81114 | 20.05496 | 20.55144 | 168.0564 | 180.5366 | 189.3843 |
| 2d | 9.00519 | 10.3925 | 6.163717 | 224.9725 | 222.3038 | 231.9226 |
| 2d | 30.19705 | 28.0345 | 26.32873 | 195.3444 | 202.9751 | 206.6766 |
| 2d | 8.16583 | 9.026878 | 6.759667 | 223.3904 | 220.6319 | 230.253 |
| 2d | 30.39238 | 27.13504 | 26.61063 | 192.4211 | 201.5025 | 204.338 |
| 2e | 25.79432 | 23.90398 | 24.57882 | 199.9713 | 203.4704 | 214.5205 |
| 2e | 18.7704 | 17.34772 | 21.48881 | 152.6575 | 170.4 | 185.6158 |
| 2e | 24.45512 | 23.17028 | 22.97044 | 194.7684 | 201.3587 | 212.0083 |
| 2e | 22.26759 | 19.23733 | 22.1241 | 162.2107 | 177.6345 | 191.378 |
| 2e | 13.12423 | 11.82411 | 6.747177 | 209.5592 | 213.5743 | 235.3725 |
| 2e | 36.86932 | 33.41348 | 34.73708 | 180.2521 | 197.28 | 208.8368 |
| 2e | 12.17206 | 13.25388 | 8.109531 | 213.014 | 212.9911 | 227.5296 |
| 2e | 29.93423 | 27.13852 | 26.89431 | 187.978 | 202.5437 | 210.7089 |
| 3a | 16.03687 | 14.63814 | 23.50231 | 90.1072 | 81.45818 | 118.7114 |

| | | | | | | |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 3a | 19.52292 | 19.77661 | 24.46199 | 134.9293 | 146.4212 | 211.5504 |
| 3a | 25.76289 | 25.86032 | 28.49862 | 182.5498 | 171.1872 | 227.6646 |
| 3a | 21.34681 | 19.64736 | 23.46194 | 146.2745 | 157.6384 | 219.9041 |
| 3a | 19.27268 | 19.46845 | 8.734327 | 197.8706 | 193.0694 | 252.0163 |
| 3a | 24.65013 | 22.98742 | 27.06065 | 148.6335 | 160.4825 | 222.8801 |
| 3a | 9.063474 | 11.04534 | 1.084049 | 213.0065 | 200.2871 | 254.7203 |
| 3a | 29.80464 | 28.91483 | 27.19018 | 156.176 | 172.5147 | 234.5795 |
| 3b | 27.96909 | 31.20582 | 41.58001 | 188.2788 | 167.1633 | 183.1896 |
| 3b | 20.26276 | 19.40602 | 34.55885 | 139.9865 | 139.2961 | 156.2519 |
| 3b | 22.37363 | 30.0385 | 43.75319 | 205.1924 | 180.2717 | 187.4378 |
| 3b | 16.68876 | 15.71305 | 35.6072 | 155.1857 | 153.8715 | 177.1056 |
| 3b | 23.10745 | 28.36143 | 39.51888 | 203.8486 | 178.4467 | 191.2315 |
| 3b | 25.71928 | 26.24815 | 37.94974 | 158.9837 | 156.4865 | 170.7004 |
| 3b | 29.7816 | 33.61869 | 43.2424 | 192.7982 | 168.9723 | 178.6628 |
| 3b | 25.37828 | 27.30406 | 42.26379 | 153.8005 | 153.3069 | 171.7474 |
| 4 | 27.11084 | 24.3047 | 25.176 | 172.5451 | 151.662 | 153.4298 |
| 4 | 17.61015 | 17.69171 | 18.26203 | 116.5325 | 117.0742 | 118.3637 |
| 4 | 23.37032 | 21.22953 | 21.6273 | 153.7261 | 142.1086 | 143.7714 |
| 4 | 15.67531 | 15.84114 | 15.60794 | 214.6808 | 214.968 | 215.2109 |

Dalam metode KNN, diperlukan data testing untuk menentukan nilai k yang cocok. Testing data digunakan untuk membuktikan bahwa alat ini layak digunakan.

3. Hasil dan Analisis

3.1 Pengujian Perangkat

Pada bagian ini berisi tentang analisis dan pembahasan apakah alat dapat bekerja sesuai perancangan yang telah dipaparkan pada penjelasan sebelumnya dan pengujian dilakukan secara bertahap untuk mendapatkan hasil yang sesuai. Hasil pengujian Jetson Nano sesuai, kabel power type-c dihubungkan ke jetson nano dan menampilkan indikator berwarna kuning. Pada saat ditekan Select target akan menampilkan pemilihan driver yang ingin diformat, setelah selesai tulisan Flash akan bisa ditekan. Setelah menekan Flash, tunggu hingga flash selesai maka dapat dikatakan bahwa pemasangan linux pada jetson nano berhasil. Dari hasil pengujian LCD desktop pada Linux terpasang dengan benar terhadap Jetson Nano. LCD HDMI Display juga dapat berfungsi untuk *touchscreen* dan lcd dapat berfungsi menampilkan dengan jelas, Jetson nano dan LCD HDMI display berjalan dengan sesuai keinginan.

3.2 Pengujian Klasifikasi Warna

Pada data *training*, data-data yang diambil ialah *Colour Standart Defiation* dan *Colour Mean* (rata-rata). Data Akhir atau bisa dikatakan data *testing* yang akan dibandingkan dengan data *training*. Dari gambar diatas bisa kita ketahui bahwa camera akan menangkap gambar dan nantinya akan di bandingkan. Tabel 3 sampai 5 menunjukkan hasil perbandingan dari nilai k .



Gambar 3. Pengujian Hasil KNN

Tabel 3. Data *Testing k=3*

| Hasil Kelas | StdR | StdG | StdB | MeanR | MeanG | MeanB | Keterangan |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| 2d | 22.81114 | 20.05496 | 20.55144 | 168.0564 | 180.5366 | 189.3843 | benar |
| 4 | 25.71928 | 26.24815 | 37.94974 | 158.9837 | 156.4865 | 170.7004 | benar |
| 4 | 27.96909 | 31.20582 | 41.58001 | 188.2788 | 167.1633 | 183.1896 | salah |
| 2a | 13.13058 | 14.69636 | 0.283743 | 205.0672 | 187.0005 | 254.9804 | salah |
| 1b | 28.80357 | 25.94754 | 17.94258 | 196.2329 | 194.9035 | 244.5724 | salah |
| 2b | 19.93596 | 16.49534 | 19.96546 | 155.6013 | 154.7281 | 227.2235 | salah |
| 3a | 21.34681 | 19.64736 | 23.46194 | 146.2745 | 157.6384 | 219.9041 | salah |
| 1a | 23.48336 | 22.85764 | 26.5107 | 208.9387 | 204.6357 | 243.0815 | salah |
| 2e | 24.56545 | 23.08334 | 16.08557 | 171.6851 | 191.7398 | 246.7161 | salah |
| 3b | 20.26276 | 19.40602 | 34.55885 | 139.9865 | 139.2961 | 156.2519 | benar |

Tabel 4. Data *Testing k=5*

| Hasil Kelas | StdR | StdG | StdB | MeanR | MeanG | MeanB | Keterangan |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| 2d | 22.81114 | 20.05496 | 20.55144 | 168.0564 | 180.5366 | 189.3843 | benar |
| 4 | 27.11084 | 24.3047 | 25.176 | 172.5451 | 151.662 | 153.4298 | benar |
| 4 | 17.61015 | 17.69171 | 18.26203 | 116.5325 | 117.0742 | 118.3637 | benar |
| 2a | 13.13058 | 14.69636 | 0.283743 | 205.0672 | 187.0005 | 254.9804 | salah |
| 1b | 19.27942 | 18.96588 | 23.58546 | 129.2203 | 153.8211 | 227.6476 | salah |
| 2d | 22.81114 | 20.05496 | 20.55144 | 168.0564 | 180.5366 | 189.3843 | salah |
| 3a | 19.76793 | 17.35366 | 33.95414 | 172.2071 | 156.5329 | 183.5627 | salah |
| 1a | 23.18361 | 23.04478 | 21.23969 | 184.0643 | 187.331 | 238.7011 | benar |
| 2e | 22.36563 | 24.61451 | 18.13774 | 207.4076 | 190.8204 | 243.0806 | salah |
| 3b | 22.37363 | 30.0385 | 43.75319 | 205.1924 | 180.2717 | 187.4378 | benar |

Tabel 5. Data *Testing k=7*

| Hasil Kelas | StdR | StdG | StdB | MeanR | MeanG | MeanB | Keterangan |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| 2d | 23.18361 | 23.04478 | 21.23969 | 184.0643 | 187.331 | 238.7011 | benar |
| 4 | 27.11084 | 24.3047 | 25.176 | 172.5451 | 151.662 | 153.4298 | salah |
| 2a | 24.51575 | 24.61225 | 14.45374 | 190.94 | 172.8209 | 247.1424 | benar |
| 1b | 25.10691 | 23.5737 | 18.42118 | 188.3838 | 189.7884 | 243.5456 | benar |
| 2d | 19.63207 | 16.65719 | 20.95685 | 154.1321 | 155.2746 | 227.8478 | benar |
| 3a | 19.52292 | 19.77661 | 24.46199 | 134.9293 | 146.4212 | 211.5504 | salah |
| 2c | 12.35061 | 12.02826 | 17.14129 | 234.5861 | 186.0111 | 206.0406 | benar |
| 2e | 25.79432 | 23.90398 | 24.57882 | 199.9713 | 203.4704 | 214.5205 | salah |
| 3b | 27.96909 | 31.20582 | 41.58001 | 188.2788 | 167.1633 | 183.1896 | benar |

K-Nearest Neighbors (KNN) adalah algoritma klasifikasi yang menentukan kelas suatu data uji berdasarkan kedekatannya dengan data latih. Parameter k mengacu pada jumlah tetangga terdekat yang dipertimbangkan dalam klasifikasi. Nilai k yang berbeda dapat memengaruhi kinerja klasifikasi secara signifikan. Pada kasus ini, pengujian dilakukan dengan tiga nilai k, yaitu k = 3, k = 5, dan k = 7. Pada pengujian dengan k = 3, dari 10 data uji, hanya 3 data (30%) yang diklasifikasikan dengan benar,

sementara 7 data (70%) salah klasifikasi. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai $k = 3$ terlalu kecil, sehingga klasifikasi mudah terpengaruh oleh noise atau outlier pada data. Selanjutnya, pada pengujian dengan $k = 5$, jumlah data yang diklasifikasikan dengan benar meningkat menjadi 5 dari 10 data uji (50% akurasi). Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan nilai k dapat menghasilkan klasifikasi yang lebih stabil. Pada pengujian dengan $k = 7$, jumlah data uji berkurang menjadi 9, mungkin karena ada data yang tidak tercatat. Maka dari itu, perangkat ini menggunakan nilai $k=7$.

4. Conclusion

Telah berhasil dikembangkan alat pengukur dan pengklasifikasi laju korosi tembaga berbasis standar ASTM D130 menggunakan Jetson Nano, webcam, dan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN). Alat ini mampu mengukur dan mengklasifikasi tingkat korosi secara otomatis dengan memanfaatkan nilai Mean RGB dan standar deviasi RGB dari citra yang diambil. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sistem ini lebih akurat, efisien, dan objektif dibandingkan metode manual, sehingga dapat mendukung proses pengujian korosi secara lebih cepat, konsisten, dan mengurangi ketergantungan pada pengamatan manusia.

Pengakuan dan Penghargaan

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyelesaian penelitian ini. Ucapan terima kasih disampaikan kepada:

1. **Lab Politeknik Negeri Malang**, yang telah memberikan fasilitas dan dukungan teknis selama penelitian berlangsung.
2. **PT. Teknoklop Indonesia**, atas dukungan finansial yang memungkinkan penelitian ini terlaksana.

Penulis juga menghargai dukungan keluarga dan teman-teman yang telah memberikan semangat dan motivasi selama proses penelitian. Segala kekurangan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

References

- [1] S. D. Mendoza *et al.*, "Optimalisasi Perawatan Kapal terhadap Korosi menurut Nace International diatas Kapal MV. Magnanimous," *Nat. Microbiol.*, vol. 3, no. 1, p. 641, 2020,
- [2] D. G. Reid and G. C. Smith, "The X-ray photoelectron spectroscopy of surface films formed during the ASTM D-130/ISO 2160 copper corrosion test," *Pet. Sci. Technol.*, vol. 32, no. 4, pp. 387–394, 2014, doi: 10.1080/10916466.2011.588635.
- [3] R. Ornelasari, "Analisa Laju Korosi Pada Stainless Steel 304 Menggunakan Metode Astm G31-72 Pada Media Air Nira Aren," *Jtm*, vol. 01, pp. 112–117, 2015.
- [4] K. Feriansyah and A. M. Sakti, "Studi Komparatif Laju Korosi Logam Kuningan C3604 (Spuyer Karburator) Di Media Premium Dan Pertamina Menggunakan Metode ASTM D-130," *Fak. Tek. Univ. Negeri Surabaya*, vol. 03, pp. 348–354, 2015, [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/230802847.pdf>
- [5] D. Fydo, "Mesin Seleksi Kualitas Daun Tembakau Menggunakan Convolutional Neural Network," POLITEKNIK NEGERI MALANG, 2024.
- [6] M. A. Ala'uddin, I. Siradjuddin, and T. Winarno, "Analisa Frekuensi Musik Untuk Sinkronisasi Gerak Tarian Pada Robot KRSTI," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 9, no. 3, pp. 206–211, 2023, doi: 10.33795/elkolind.v9i3/330.
- [7] Muhammad Luqman Bukhori and Erwan Eko Prasetyo, "Sistem Deteksi Masker Berbasis Jetson Nano dengan Deep Learning Framework TensorFlow," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 12, no. 1, pp. 15–21, 2023, doi: 10.22146/jnteti.v12i1.5472.
- [8] Z. Yang, E. L. Hsiang, Y. Qian, and S. T. Wu, "Performance Comparison between Mini-LED Backlit LCD and OLED Display for 15.6-Inch Notebook Computers," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 3, 2022, doi: 10.3390/app12031239.

- [9] A. W. Suwarno and A. Priharyoto Bayuseno, "Analisis Stress Corrosion Cracking Logam Tembaga Dengan Metode U-Bend Pada Media Korosi NH_4OH 1M," *J. Tek. Mesin S-1*, vol. 2, no. 4, pp. 382–391, 2014.



Budhy Setiawan, lahir di Surabaya, 9 April 1964. Menempuh pendidikan S1 di Southern Institute of Technology, Marietta, GA, USA lulus tahun 1991, lalu S2 di Universitas Brawijaya lulus tahun 2008, selanjutnya S3 di Institut Teknologi Sepuluh November lulus tahun 2014. Profesor bidang Mekatronika di Politeknik Negeri Malang. Mekatronika dan Renewable Energy, Machine Learning

Alamat Email: budhy.setiawan@polinema.ac.id



Gillang Al Azhar, lahir di Malang, 22 Juni 1995. Menempuh pendidikan D4 di Politeknik Negeri Malang lulus tahun 2017, lalu S2 di Politeknik Negeri Malang lulus tahun 2019, .Dosen Tetap D3 Teknik Elektronika di Politeknik Negeri Malang. Robotic, Sistem Embedded.

Alamat Email: gillang_al_azhar@polinema.ac.id



Irfin Sandra Asti, lahir di Malang, 27 Juni 1995. Menempuh pendidikan D4 di Politeknik Negeri Malang lulus tahun 2017, lalu S2 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember lulus tahun 2020, .Dosen Tetap D3 Teknik Elektronika di Politeknik Negeri Malang. Sistem Kendali, IoT, Machine Learning.

Alamat Email: irfinsandra@polinema.ac.id



Surya Fitrah Adittian lahir di Kabupaten Probolinggo, 18 Desember 2001. Memperoleh gelar sarjana terapan dari Politeknik Negeri Malang pada 2024 di jurusan Teknik Elektro Program Studi Elektronika.

Alamat Email: suryaadittian@gmail.com