

Pengolahan Citra Digital untuk Mendeteksi Kesalahan Kerja Mesin Industri dengan Metode *Learning Vector Quantization*

Digital Image Processing for Detecting Industrial Machine Work Failure with Quantization Vector Learning Method

Muh. Rafli Rasyid¹⁾, Zulkifli Tahir²⁾, Syafaruddin³⁾

^{1,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Makassar

²Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar

^{1,2,3}Jalan Poros Malino Km. 6, Bontomarannu. Gowa, Sulawesi Selatan. 92171

rasyidmr17d@student.unhas.ac.id¹⁾, zulkifli@unhas.ac.id²⁾, syafaruddin@unhas.ac.id³⁾

Diterima: 8 Agustus 2019 || Revisi: 4 Oktober 2019 || Disetujui: 7 Oktober 2019

Abstrak – Dewasa ini, pengolahan citra digital banyak digunakan dalam berbagai bidang. Hal ini untuk mempermudah manusia dalam melakukan pekerjaan dengan cara menganalisis video atau gambar. Selain itu pengolahan citra digital digunakan dalam pengambilan keputusan, dunia industri, pemanfaatan teknologi mesin industri yang merupakan salah satu faktor yang paling penting dalam upaya memudahkan pekerjaan manusia. Suatu mesin industri tidak terlepas dari kesalahan kerja yang dapat menghambat proses produksi dan menimbulkan kerugian bagi industri. Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi kesalahan kerja mesin industri dengan menggunakan data video pergerakan mesin industri yang direkam menggunakan kamera *webcam*. Untuk tahap proses *preprocessing*, citra di *-resize* kemudian di konversi menjadi citra *grayscale* dan dilakukan segmentasi menggunakan metode *thresholding*. Tahap selanjutnya melakukan operasi morfologi dengan operasi *opening*. Ekstraksi fitur dilakukan dengan mengubah citra biner menjadi data vektor yang digunakan sebagai data masukan pada proses klasifikasi dengan menggunakan algoritma *Learning Vector Quantization Neural Network* (LVQ NN). Hasil penelitian menunjukkan hasil deteksi kesalahan kerja mesin industri dapat dilakukan dengan baik dengan nilai akurasi sebesar 94,24% pada tahap pelatihan, dan 92,38% pada tahap pengujian.

Kata Kunci: *Learning Vector Quantization* (LVQ), *Neural Network*, pengolahan citra digital

Abstract – Today, digital image processing is widely used in various fields to facilitate humans in doing work by analyzing videos or images for use in decision making in the industrial world. The use of industrial machine technology is one of the most important factors in efforts to facilitate human work, but an industrial machine is inseparable from work failure that can hinder the production process and cause harm to the industry. This study aims to detect a failure in industrial machinery by using video data of industrial machine movements recorded using a webcam camera. For the preprocessing stage, the image is resized then converted to grayscale imagery and segmented using the thresholding method, then morphological operations are performed with an opening operation, feature extraction is done by changing the binary image into a vector data that is used as input data in the classification process using the Learning Vector Quantization Neural Network Algorithm (LVQ NN) version 1. The results showed the results of the detection of machine working errors can be done well with an accuracy value of 94.24% in training and 92.38% in the testing phase.

Keywords: *image processing, Learning Vector Quantization* (LVQ), *Neural Network*

PENDAHULUAN

Computer vision adalah bidang ilmu komputer yang membahas bagaimana komputer memungkinkan untuk melihat, mengenali, dan memproses gambar dengan analisis yang sama seperti mata manusia, kemudian memberikan pengetahuan yang sesuai (Hidayatullah, 2017). *Computer vision* memiliki konsep seperti menanamkan kecerdasan manusia ke dalam komputer (Budiharto dan Suharto, 2014). Salah satu bagian terpenting dari *computer vision* adalah pengolahan citra yang merupakan proses awal pada *computer vision*. Keberadaan mesin di dunia industri

sangat menguntungkan karena dapat mempersingkat waktu produksi untuk meningkatkan produktivitas sehingga lebih banyak pekerjaan dapat diselesaikan. Namun, suatu mesin tidak dapat dipisahkan dari kesalahan kerja yang dapat menghambat proses produksi dan menyebabkan kerugian besar bagi perusahaan (Tahir, 2018). Kesalahan kerja dapat disebabkan oleh banyak hal, termasuk penuaan mesin, kesalahan pemasangan awal, penggunaan *runtime* kesalahan, gangguan kebersihan mesin dan sebagainya (Tahir, 2010). Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi kesalahan pekerjaan mesin industri dengan

menganalisis pergerakan mesin industri dalam sebuah video.

Beberapa penelitian yang berbasis pengolahan citra digital dan penerapan algoritma klasifikasi *Learning Vector Quantization Neural Network* (LVQ NN) pada berbagai bidang sudah banyak dilakukan oleh Contreras-medina *et al.* (2010) melakukan penelitian untuk mendeteksi kegagalan motorik seperti patah batangan, ketidak-seimbangan, dan kelonggaran pada motor induksi dengan menggunakan FPGA untuk mengembangkan alat analisis getaran *multichannel* dengan tahap pasca pemrosesan, yang memungkinkan menyediakan diagnosa otomatis tentang keadaan alat berat yang melakukan pemantauan *online* terus menerus padanya karena proses paralel dilakukan oleh FPGA yang meningkatkan kecepatan sistem. Hasil yang diperoleh menunjukkan kinerja sistem yang baik dan mampu memberikan hasil deteksi secara keseluruhan, penelitian juga dilakukan oleh Gawde and Borkar (2017), mereka melakukan penelitian untuk mendeteksi kesalahan mesin berputar menggunakan analisis orbit poros dan *image processing*, kesalahan dideteksi menggunakan plot yang dimiliki oleh poros tengah. Orbit melingkar menyatakan bahwa mesin dalam kondisi baik. Orbit elips menggambarkan bahwa mungkin ada ketidak-seimbangan dalam mesin. Setiap orbit acak menggambarkan bahwa mungkin ada fondasi longgar di mesin. Orbit berbentuk lingkaran atau *ellipsoid* dapat menggambarkan ketidak-sejajaran di dalam mesin. Dengan cara ini, berbagai kesalahan dapat diidentifikasi dengan menelusuri jalur orbit poros menggunakan video atau pemrosesan gambar. Hasil penelitian ini menunjukkan dengan cara yang diusulkan mampu mendeteksi kesalahan mesin dalam berputar.

Penelitian berikutnya dilakukan oleh Omer Faruk Sahar dkk (2018), yang melakukan penelitian untuk mendeteksi kesalahan perakitan pada papan sirkuit (PCB). Program ini melakukan pemeriksaan kesalahan pada papan sirkuit yang diuji dengan menggunakan data yang direkam oleh perangkat lunak administrator. Perangkat lunak operator juga membaca data pada setiap papan sirkuit dan mencatat pengujian yang dilakukan dalam database. Penelitian ini menggunakan metode *euclidean, direction control algorithm*. Hasil pengujian yang dilakukan pada 100 kartu yang diselesaikan di laboratorium litbang elektronik menunjukkan bahwa prosedur analisis dilakukan dengan akurasi paling sedikit 87%.

Berbeda dengan Herry Setiawan dan Eko Yuniarmo (2018), melakukan penelitian berbasis *computer vision* yang berkaitan dengan identifikasi urat nadi untuk digunakan pada sistem biometrik. Hasil penelitian menerangkan bahwa setiap individu memiliki pola bentuk urat nadi yang berbeda dan memiliki bentuk yang unik, pada ekstraksi fitur dengan menggunakan metode *symmetry phase*. Hal ini untuk memisahkan urat nadi dengan bagian lain dari telapak tangan, sebanyak 470 sampel. Gambar urat nadi tersebut digunakan untuk tahap identifikasi dengan menggunakan metode klasifikasi LVQ NN, serta memperoleh hasil akurasi mencapai 94% dari total sampel. Sedangkan Yuhui Ji dkk (2018), melakukan penelitian berbasis *computer vision* untuk menentukan kisaran harga apel dengan mengklasifikasikan warna apel, dengan menggunakan LVQ NN untuk membagi apel menjadi tiga tingkatan. Hasil eksperimen menunjukkan akurasi berdasarkan LVQ NN mencapai 93%, yang sedikit lebih tinggi dari SVM yaitu sebesar 92, 3%. Dari hasil beberapa penelitian yang telah dilakukan tersebut dengan tingkat persentasi keberhasilan tinggi, penulis mempertimbangkan untuk menggunakan algoritma LVQ NN. Algoritma ini bertujuan untuk mendapatkan nilai terdekat terhadap pembagian kelas vektor untuk meminimalkan kesalahan pada proses klasifikasi. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengetahui ciri pergerakan mesin industri yang akan diklasifikasikan dalam beberapa kelas yang sudah diketahui sebelumnya yaitu pergerakan mesin dalam keadaan salah dan kondisi mesin dalam keadaan normal. Dalam penelitian ini mesin industri yang digunakan sebagai objek adalah prototipe mesin industri robot *arm*.

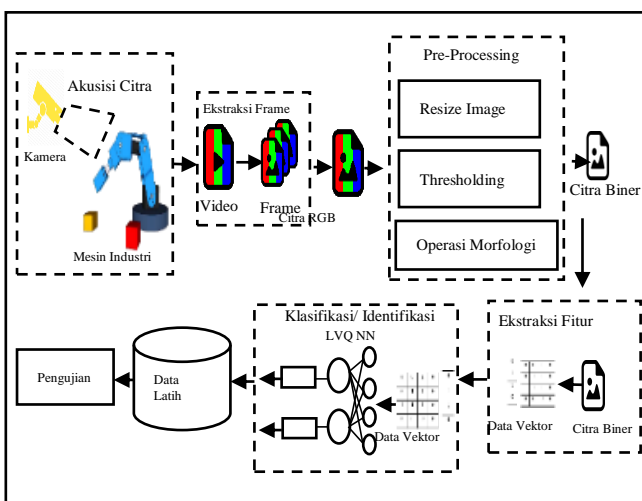
Proses pengolahan informasi dari gambar dalam konsep *computer vision*, dapat dibagi menjadi tiga tahap yaitu *preprocessing*, ekstraksi fitur dan klasifikasi/identifikasi. Penelitian ini juga akan mengikuti tiga tahapan tersebut. Pertama, *preprocessing* dilakukan dengan mengubah ukuran citra menjadi lebih kecil agar mampu mengurangi penggunaan memori dan mempercepat proses eksekusi. Tahap selanjutnya hasil citra RGB dikonversi menjadi citra *grayscale* dan dilakukan segmentasi dengan cara merubah citra *grayscale* menjadi citra biner. Hal ni menggunakan metode *thresholding* serta melakukan operasi morfologi untuk mengurangi *noise* pada citra; Kedua, melakukan ekstraksi fitur dengan cara mengubah citra biner menjadi data vektor; Ketiga, identifikasi dengan mengklasifikasikan karakteristik

data vektor menggunakan algoritma *learning vector quantization* (LVQ NN) sehingga diperoleh arsitektur jaringan, hasil pelatihan disimpan dan digunakan untuk tahap pengujian, terakhir hasil dari deteksi dievaluasi untuk mengetahui tingkat keberhasilan deteksi.

METODOLOGI PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian *experimental*, yang merupakan suatu metode penelitian yang berfungsi untuk mencari pengaruh suatu tindakan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendali. Batasan masalah dapat dilakukan dengan melakukan studi literatur dan studi lapangan.

Gambaran sistem yang diusulkan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Gambaran Sistem

Data Description

Proses pengambilan data dilakukan dengan menempatkan kamera *webcam* beresolusi 15 MP dengan ukuran video 864x480 *pixels* dalam posisi statis sejauh 50 cm dari objek. Pada penelitian ini, objek yang digunakan adalah prototipe mesin industri robot *arm*. Pada tahapan ini hasil dari akuisisi citra berupa dua video kondisi gerakan yaitu gerakan mesin industri pada saat bekerja dengan kondisi benar berdurasi 45 detik untuk data latih dan 29 detik untuk data uji. Sedangkan untuk video gerakan mesin industri pada saat bekerja dalam kondisi salah berdurasi 18 detik untuk data latih dan 11 detik untuk data uji. Setelah itu dilakukan ekstraksi *frame* sehingga menghasilkan 1883 *frame* untuk data latih yang terdiri atas 1361 *frame* data untuk kondisi benar dan 522 *frame* data untuk kondisi salah. Adapun data uji yang digunakan sebanyak 1248 *frame* data yang terdiri atas 894 *frame*

data pada kondisi benar dan 354 *frame* data kondisi salah.

Preprocessing

Preprocessing merupakan proses awal dalam pengolahan citra. Pada tahap ini dilakukan beberapa perubahan pada citra asli untuk memudahkan dalam proses pada tahap selanjutnya. Tahap pertama yang dilakukan dalam *preprocessing* adalah memperkecil ukuran citra sebesar 10% dari nilai citra asli, kemudian merubah citra RGB menjadi citra *grayscale* dengan persamaan:

$$y = 0,299R + 0.587G + 0.144B \tag{1}$$

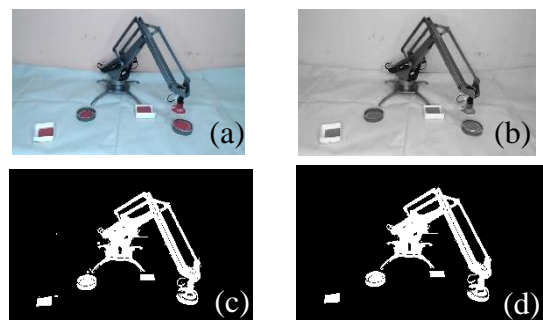
Langkah selanjutnya adalah merubah citra *grayscale* menjadi citra biner dengan metode *thresholding*. Pada penelitian ini nilai *thresholding* ditentukan sebesar 128/256 atau sebesar 0.5. Adapun persamaan untuk mengubah citra *grayscale* menjadi citra biner dapat dilihat pada persamaan:

$$y' = \begin{cases} 1, & y \geq \textit{threshold} \\ 0, & \textit{otherwise} \end{cases} \tag{2}$$

Citra biner hasil metode *thresholding* biasanya masih memiliki banyak *noise*, untuk menghilangkan *noise* pada citra digunakan operasi morfologi berupa *area opening*. Persamaan operasi morfologi citra dapat dilihat pada persamaan:

$$A \circ B = A \ominus B \oplus B \tag{3}$$

Seluruh hasil dari tahapan *processing* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 *Preprocessing*, (a) citra asli, (b) citra grayscale (c) citra biner (d) citra biner dengan operasi morfologi

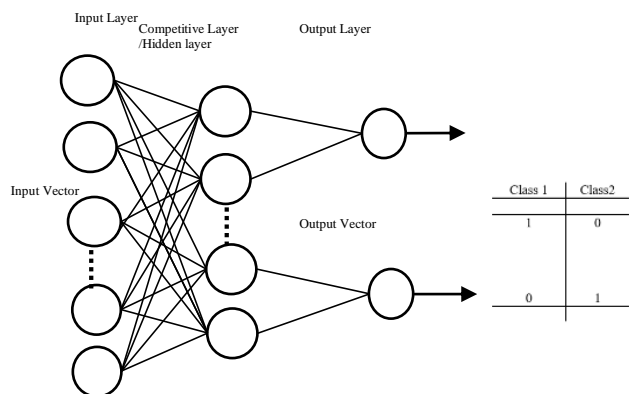
Feature Extraction

Ekstraksi fitur merupakan proses pemilihan ciri yang unik dari data yang akan diproses. Pada tahapan ini citra hasil *preprocessing* berupa citra biner yang memiliki matriks berukuran 48 x 87 dikonversi menjadi matriks vektor 4.176 x 1. Kemudian untuk mendapatkan ciri, nilai vektor digabungkan dengan total jumlah data yaitu sebanyak 1883 *frame* sehingga

mendapatkan matriks baru berukuran 4176 x 1883, kemudian matriks baru tersebut digunakan sebagai inputan untuk pelatihan menggunakan LVQ NN.

Classification and Identification

Pada tahap ini, data vektor yang dihasilkan dari ekstraksi fitur dijadikan sebagai data inputan yang diolah sehingga diperoleh suatu kelas. Pada tahapan ini, dilakukan proses pelatihan dan proses pengujian menggunakan algoritma LVQ versi 1. Proses pelatihan dilakukan menggunakan data latih yang telah diekstraksi sebelumnya untuk membedakan antara gerak salah dengan gerak benar. Setelah itu melakukan evaluasi untuk mengetahui nilai akurasi dengan membandingkan hasil keluaran dan target. Proses berikutnya adalah proses pengujian, pada proses ini data yang dihasilkan dari pelatihan akan digunakan untuk memetakan data uji sehingga diperoleh data keluaran, dan tahap selanjutnya diberi tanda label.



Gambar 3 Struktur LVQ NN

Lvq Neural Network Model

Learning vector quantization neural network adalah salah satu metode dari *artificial neural network* yang termasuk salah satu algoritma pembelajaran kompetitif terawasi dari algoritma *Kohonen Self-Organizing Map (SOM)*. LVQ NN memiliki tiga layer neuron utama, yaitu *input layer*, *hidden layer* dan *output layer* (Wang, Zhang dan Yu, 2012; Sardogan, Tuncer dan Ozen, 2018). Algoritma ini mempunyai tujuan untuk mendapatkan nilai terdekat terhadap pembagian kelas vektor untuk meminimalkan kesalahan pada proses klasifikasi. Setiap bagian *output* pada algoritma LVQ NN menyatakan sebuah kelas yang sebelumnya sudah ditentukan. Terdapat dua jenis algoritma LVQ NN untuk klasifikasi data vektor yaitu LVQ versi 1 dan LVQ versi 2. Pada LVQ versi 1 hanya satu neuron yang dapat diperbarui dan diatur yang merupakan kandidat terdekat dari target atau disebut neuron pemenang.

Sedangkan LVQ versi 2 memperkenalkan neuron *runner up*, di mana vektor bobot neuron pemenang dan neuron *runner up* akan diperbarui (Li dkk., 2015). Namun pada pengaplikasiannya, algoritma LVQ versi 1 lebih banyak digunakan dari LVQ versi 2. Pada penelitian ini peneliti menggunakan LVQ versi 1. Adapun model dari LVQ NN secara umum dapat dilihat pada Gambar 3. Algoritma LVQ memiliki konsep dasar untuk mengukur jarak vektor input terdekat dengan neuron kompetitif (Melin dkk., 2014). Jika kelas vektor input sama dengan yang ada pada neuron *layer output*, maka neuron yang terdekat pada *layer* kompetitif akan berpindah ke arah vektor input; jika tidak maka berpindah ke arah yang berlawanan.

Performance

Untuk evaluasi dilakukan perhitungan akurasi deteksi dengan menggunakan persamaan berikut:

$$accuracy = \frac{\text{number of correct detection}}{\text{total amount of data}} * 100 \quad (4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini menguraikan beberapa hasil penelitian meliputi proses akuisisi data video, pengolahan citra, pelatihan, dan pengujian menggunakan algoritma LVQ NN. Selain itu, dilakukan evaluasi pengukuran hasil akurasi deteksi yang diperoleh berdasarkan parameter LVQ NN yang sudah ditentukan. Pertama, akuisisi data video atau citra yang diambil dengan menggunakan kamera *webcam* beresolusi 15 MP dengan ukuran 864 x 480 *pixels*, kemudian dilakukan ekstraksi *frame* dari data akuisisi dengan akurasi waktu video 45 menit data uji dan 29 menit data latih yang menghasilkan 1883 *frame* data latih dan 1248 data uji. Pengolahan citra yang dilakukan pada penelitian ini adalah proses *preprocessing*, di mana citra RGB diubah menjadi citra *grayscale*, kemudian dilanjutkan dengan mengubah citra *grayscale* menjadi citra biner. Hasil citra biner kemungkinan masih terdapat *noise*, dan untuk menghilangkan *noise* pada citra dilakukan operasi morfologi yaitu dengan menggunakan metode *area opening*. Pada tahap kedua dalam pengolahan citra adalah ekstraksi fitur. Ekstraksi fitur dilakukan dengan mengubah matriks citra biner menjadi matriks vektor. Adapun hal digunakan sebagai data input pada pelatihan dan pengujian untuk identifikasi, proses identifikasi pada penelitian ini adalah menggunakan algoritma LVQ NN. Beberapa parameter yang diatur

untuk melakukan pelatihan, pada tahap pertama adalah menentukan target, di mana target dibagi menjadi dua kelas yaitu kelas 1 untuk kondisi benar, dan kelas 2 untuk kondisi salah. Tahap kedua adalah menentukan nilai parameter LVQ NN yaitu jumlah *hidden layer*, jumlah maksimum iterasi, dan *learning rate*. Pada penelitian ini nilai *hidden layer* adalah 2, yang akan diuji pada maksimum iterasi sebanyak 50, 100, 150 dan 200 kali iterasi dan *learning rate* sebesar 0.1, 0.2 dan 0.3. Hasil pelatihan berdasarkan nilai parameter yang sudah ditentukan dalam LVQ NN dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Akurasi Pelatihan LVQ

No	LVQ NN					Ket	
	Epoch	Learning rate	Jumlah Benar	Jumlah salah	Total Data		
1	50	0,1	1775	108	1883	94.26	Net94
2	50	0,2	1765	118	1883	93.73	
3	50	0,3	1361	522	1883	72.27	
4	100	0,1	1767	116	1883	93.83	
5	100	0,2	1625	258	1883	86.28	
6	100	0,3	1361	522	1883	72.27	
7	150	0,1	1716	167	1883	92.13	
8	150	0,2	1468	415	1883	77.96	
9	150	0,3	1361	522	1883	72.27	
10	200	0,1	1657	226	1883	91.99	
11	200	0,2	1634	249	1883	86.79	
12	200	0,3	1361	522	1883	72.27	

Hasil Tabel 1 dengan menggunakan metode LVQ NN menjelaskan bahwa perubahan jumlah *learning rate* yang digunakan pada proses pelatihan berpengaruh pada nilai akurasi. Adapun nilai akurasi yang didapatkan mencapai 94.26%, sehingga pada proses selanjutnya akan menggunakan arsitektur jaringan dengan nilai akurasi tertinggi yaitu menggunakan metode LVQ NN. Adapun hasil arsitektur jaringan dari pelatihan disimpan untuk digunakan pada tahap pengujian. Untuk mendapatkan nilai persentase dari masing-masing nilai parameter yang ditentukan, maka dilakukan percobaan atau *training* secara berulang-ulang. Dengan demikian akan diambil nilai akurasi tertinggi dari setiap percobaan dengan menggunakan pengaturan parameter tersebut. Penggunaan arsitektur jaringan yang telah disimpan pada saat pelatihan dapat dilihat pada Tabel 2

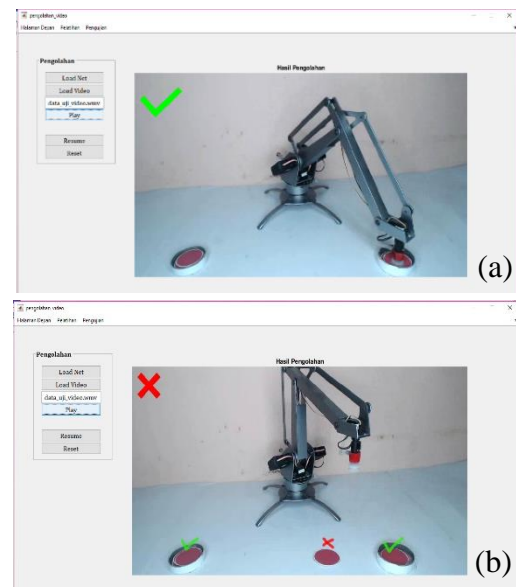
Tabel 2 Akurasi Pengujian LVQ NN

No	Arsitektur Jaringan	Jumlah Benar	Jumlah salah	Total Data	Akurasi
1	Net94	1153	95	1248	92,38
2	Net93	1126	122	1248	90,22

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan Tabel 2, diperoleh nilai akurasi yang mencapai 92.38% pada saat pengujian dengan menggunakan arsitektur jaringan yang telah dibangun pada saat pelatihan yaitu dengan menggunakan net94.mat dengan akurasi

sebesar 94.26%. Semakin besar nilai akurasi yang diperoleh pada saat pelatihan akan berpengaruh terhadap nilai akurasi pada saat pengujian.

Pada proses pengujian dilakukan pengolahan citra yang sama dengan pengolahan citra pada proses pelatihan dari tahap *preprocessing* sampai dengan tahap ekstraksi fitur, hasil data vektor dari data uji yang telah diekstraksi dijadikan inputan dalam arsitektur jaringan LVQ NN yang sudah dibangun saat pelatihan. Citra hasil pengujian kemudian diberi label sesuai kondisi bobot akhir untuk setiap kelas. Hal ini berupa tanda silang berwarna merah sebagai kondisi salah atau hasil *output* kelas 1, dan tanda ceklis berwarna hijau untuk kondisi benar atau hasil *output* untuk kelas 2. Adapun citra yang sudah diberi label dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Hasil Pengujian (a) Kondisi Benar, (b) Kondisi Salah

Gambar 4 (b) menunjukkan kondisi salah dari mesin industri yang berhasil dideteksi. Hal ini dapat dilihat pada beberapa pin atau objek yang ingin dipindahkan oleh mesin dan tidak diletakkan ditempat yang sesuai atau pin terjatuh pada saat proses pemindahan. Sedangkan kondisi benar dapat dilihat pada Gambar 4 (a) yang menunjukkan peletakan pin/objek yang ingin dipindahkan oleh mesin diletakkan sesuai dengan tempatnya.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah mengimplementasikan pengolahan citra digital sebagai representasi dari konsep *computer vision* dengan menggunakan algoritma *learning vector quantization neural network*.

Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi kesalahan kerja mesin industri, *preprocessing* yang dilakukan untuk mengubah citra sehingga lebih mudah untuk digunakan. Pada tahap selanjutnya, tahap ekstraksi fitur dilakukan dengan cara merubah citra biner menjadi data vektor. Setelah itu data vektor tersebut dilatih dengan menggunakan algoritma LVQ NN. Selanjutnya hasil deteksi dievaluasi untuk menghasilkan nilai akurasi deteksi. Hasil penelitian menunjukkan algoritma LVQ NN dapat mendeteksi kesalahan kerja mesin industri dengan baik dengan nilai akurasi sebesar 94,24% pada tahap pelatihan, dan 92,38% pada tahap pengujian.

Penambahan studi kasus seperti menggunakan mesin industri secara real patut untuk kembali diuji-cobakan. Mengingat hasil deteksi pada penelitian dengan menggunakan prototipe robot *arm*, akan dikembangkan sistemnya lebih lanjut yang bertujuan untuk mendeteksi secara *real time* pada video *monitoring*. Mengingat hasil deteksi dengan video masih kurang, sehingga dalam penggunaan lebih dari satu kamera dapat dipertimbangkan untuk mendapatkan hasil deteksi yang lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih civitas akademika Universitas Hasanuddin, khususnya Fakultas Teknik, serta semua pihak yang telah membantu penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anthal, J., Upadhyay, A. and Gupta, A. (2017). Detection of Vitiligo Skin Disease using LVQ Neural Network. 2017 International Conference on Current Trends in Computer, Electrical, Electronics and Communication (CTCEEC). IEEE, pp. 922–925. doi: 10.1109/CTCEEC.2017.8455029.
- Budiharto, W. and Suharto, D. (2014). Artificial Intelligence Konsep Dan Penerapannya. Pertama. Yogyakarta: Andi.
- Contreras-medina, L. M. et al. (2010). FPGA-Based Multiple-Channel Vibration Analyzer for Industrial Applications in Induction Motor Failure Detection, 59(1), pp. 63–72.
- Gawde, S. S. and Borkar, S. (2017). Condition Monitoring Using Image Processing. ICCMC, pp. 1083–1086.
- Hidayatullah, P. (2017). Pengolahan Citra Digital Teori dan Aplikasi Nyata. First Edit. Bandung: Informatika.
- Ji, Y. et al. (2018). Apple color automatic grading method based on machine vision. Proceedings of the 30th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2018. IEEE, pp. 5671–5675. doi: 10.1109/CCDC.2018.8408121.
- Li, P. et al. (2015). Surface targets recognition method based on LVQ neural network. 2015 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2015, pp. 676–680. doi: 10.1109/ICMA.2015.7237566.
- Melin, P. et al. (2014). A new neural network model based on the LVQ algorithm for multi-class classification of arrhythmias. Information Sciences. Elsevier Inc., 279(April), pp. 483–497. doi: 10.1016/j.ins.2014.04.003.
- Şahan, O. F. et al. (2018). An image processing system for detecting production errors on circuit boards and enabling error tracking and reporting based on 2-D barcodes. 26th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2018, pp. 1–4. doi: 10.1109/SIU.2018.8404589.
- Sardogan, M., Tuncer, A. and Ozen, Y. (2018). Plant Leaf Disease Detection and Classification Based on CNN with LVQ Algorithm. UBMK 2018 - 3rd International Conference on Computer Science and Engineering. IEEE, pp. 382–385. doi: 10.1109/UBMK.2018.8566635.
- Setiawan, H. and Yuniarno, E. M. (2018). Biometric Recognition Based on Palm Vein Image Using Learning Vector Quantization. Proceedings of 2017 5th International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering, ICICI-BME 2017. IEEE, (November), pp. 95–99. doi: 10.1109/ICICI-BME.2017.8537770.
- Tahir, Z. (2010). A Hybrid Maintenance Management Model in Decision Support System for Small and Medium Food Processing Industries. Universiti Teknikal Malaysia Melaka.
- Tahir, Z. (2018) ‘Study Penerapan Industri Cerdas Dengan Komputasi Kabut (Fog Computing)’. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Wang, C., Zhang, H. and Yu, C. (2012). Research on color recognition of urine test paper based on learning vector quantization (LVQ). Proceedings of the 2012 2nd International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control, IMCCC 2012, pp. 850–853. doi: 10.1109/IMCCC.2012.205