Klasifikasi Suara Paru-Paru Menggunakan Convolutional Neural Network (CNN)

Ismail Hasanain W.[1], Drs. Jondri, M.Si.[2], Dr. Achmad Rizal, S.T., M.T.[3]

[1,2,3]School of Computing, Telkom University, Indonesia
[1]ismailhasanainw@students.telkomuniversity.ac.id, [2]jondri@telkomuniversity.ac.id, [3]achmadrizal@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Paru-paru merupakan saluran respirasi bagi manusia untuk bernafas dengan menghirup oksigen (O2) dan menghembuskan karbondioksida (CO2) dan uap air (H2O). Pencegahan maupun deteksi dini terhadap gangguan paru-paru biasanya dilakukan oleh seorang dokter. Keahlian yang dimiliki memungkinkan dokter untuk mendiagnosa apakah paru-paru seseorang normal atau terdapat gangguan (abnormal). Deteksi gangguan (abnormal) paru-paru yang biasanya digunakan oleh dokter yaitu dengan mendengarkan suara paru-paru menggunakan alat bantu stetoskop atau biasa disebut sebagai teknik auskultasi. Dalam penelitian ini, pembaharuan data suara paru-paru dibuat dalam data spectrogram yang berbentuk 2 dimensi. Algoritma klasifikasi yang baik menangani data 2 dimensi adalah Convolutional Neural Network (CNN). Sehingga pelitian mengenai data suara paru-paru yang dilakukan berupa spectrogram suara paru-paru yang akan diolah dengan klasifikasi CNN. Hasil akurasi yang didapatkan sebesar 74% dari keseluruhan penelitian yang dilakukan.

Kata Kunci

Data suara paru-paru,Preprocessing, Klasifikasi, CNN, Spectrogram

I. PENDAHULUAN

Paru-paru merupakan saluran respirasi bagi manusia untuk bernafas dengan menghirup oksigen (O2) dan menghembuskan karbondioksida (CO2) dan uap air (H2O). Proses ini dilakukan secara terus menerus setiap waktu dan membentu manusia untuk bertahan hidup. Setiap oksigen (O2) yang dihirup akan membantu dalam penyaluran energi keseluruh tubuh oleh darah. Tidak terbayangkan apabila terjadi kerusakan atau gangguan terhadap paru-paru. Hal tersebut dapat menyebabkan kerugian bagi manusia bahkan sampai merenggut jiwa. Tentunya merawat dan menjaga kesehatan paru-paru menjadi faktor utama yang harus dilakukan.

Kerusakan paru-paru ini biasanya disebabkan oleh faktor keturunan seperti asma dan bronkhitis ataupun faktor luar seperti kurangnya asupan gizi untuk kesehatan paru-paru, faktor bakteri dan virus, serta fakor lainnya. Diperkirakan setiap tahunnya jumlah pengidap penyakit paru-paru bertambah dan 19% menyebabkan kematian diseluruh dunia serta 15% menyebabkan kecacatan hidup (FIRS, 2010).

Pencegahan maupun deteksi dini terhadap gangguan paru-paru biasanya dilakukan oleh seorang dokter. Keahlian yang dimiliki memungkinkan dokter untuk mendiagnosa apakah paru-paru seseorang normal atau terdapat gangguan (abnormal). Deteksi yang biasanya digunakan oleh dokter yaitu dengan mendengarkan suara paru-paru menggunakan alat bantu stetoskop atau biasa disebut sebagai teknik auskultasi.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan hasil akurasi yang baik untuk deteksi terhadap gangguan paru-paru melalui suara pernapasan. Pengenalan suara paru-paru dengan menggunakan ekstrasi ciri MFCC (Mel Frequency Cepstrum Coefisien) dan backpropagation sebagai klasifikasinya telah menghasilkan akurasi yang cukup baik yaitu rata-rata sebesar 93.97% untuk data latih dan 92.66% untuk data uji [3]. Dalam peneliatian lainnya, melakukan perbandingan tingkat akurasi ekstarsi ciri menggunakan Multilevel Wavelet Packet Entropy (MWPE) dengan menggunakan 2 jenis entropi yaitu entropi Renyi sebesar 93.94% dan entropi Tsallis sebesar 57.58% dengan klasifikasi menggunakan multilayer perceptron [1].

Dari hasil penelitian yang didapatkan terlihat jelas mengenai perbedaan akurasi didapatkan ketika proses klasifikasi dan ekstrasi ciri yang dilakukan berbeda. Oleh karena itu, penelitian yang berkelanjutan mengenai deteksi gangguan paru-paru perlu dilakukan untuk hasil yang lebih baik. Dalam hal ini, penelitian mengenai data suara paru-paru berupa spectrogram yang akan diolah dengan klasifikasi CNN. Sehingga penelitian ini berjudul "Klasifikasi Suara Paru-Paru Menggunakan Convolutional Neural Network (CNN)".

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Hasil Tinjauan Pustaka

Perlu adanya bahan dukungan untuk penelitian merupakan suatu kebutuhan bagi peneliti, hal ini tidak luput dari hasil-hasil penelitian yang telah ada sebelumnya. Dari salah satu penelitian menyebutkan bahwa organ paru-paru sangatlah penting dan harus dijaga, terlebih lagi paru-paru yang memiliki gangguan atau masalah. Hal ini tentu perlu adanya penelitian mengenai deteksi untuk mengenali suara paru-paru dengan ekstrasi ciri MFCC dan classifier-nya backpropagation, didapatkan akurasi sebesar 93.37% (data latih) dan 92.66% (data uji) [3]. Metode yang dijalankan mendapatkan hasil yang baik.

Berbeda halnya dengan penelitian lainnya yang menggunakan ekstrasi ciri Wavelet yang dilakukan oleh Achmad Rizal bersama rekannya. Dengan melakukan perbandingan tingkat akurasi ekstarsi ciri menggunakan Multilevel Wavelet Packet Entropy (MWPE) menggunakan 2 jenis entropi yaitu entropi Renyi dan entropi Tsallis mendapatkan hasil akurasi masing-masing sebesar 93.94% dan 57.58%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil entropi Renyi lebih baik dibandingkan dengan hasil entropi Tsallis dengan menggunakan multilayer perceptron sebagai classifier [1]. Dengan menggunakan metode yang berbeda, maka hasil yang didapat akan beragam. Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai deteksi gangguan suara paru-paru perlu dilakukan, sehingga mendapatkan metode dengan hasil yang optimal.

B. Suara Paru-paru

Paru-paru merupakan organ respirasi (pernapasan) yang berhubungan dengan sistem pernapasan dan sirkulasi (peredaran darah) dalam tubuh manusia. Fungsinya adalah menukar oksigen dari udara dengan karbon dioksida dari darah. Prosesnya disebut ”pernapasan eksternal” atau bernapas. Paru-paru kiri orang dewasa umumnya berbobot sekitar 325–550 gram dan yang kanan bobotnya sekitar 375–600 gram. Untuk anatomi, paru-paru kanan memiliki tiga bagian (lobus) yang berbeda. Sementara paru-paru bagian kiri memiliki dua bagian lobus. Berdasarkan hal itu, paru-paru kanan memiliki ukuran dan berat yang lebih besar dibanding paru-paru kiri. Setiap kali paru-paru melakukan pernapasan, akan terdengar suara saat menarik nafas dan mengeluarkannya. Hal tersebut merupakan suara pernapasan dari dalam paru-paru yang dapat mengindikasikan bahwa paru- paru tersebut mengalami gangguan atau tidak. Jika paru-paru terganggu fungsinya, kesehatan tubuh manusia bisa terpengaruh secara keseluruhan. Sehingga haruslah dapat menjaga kesehatan paru-paru.

Gangguan yang terjadi pada paru-paru bisa dideteksi dengan mendengarkan suara yang dihasilkan saat proses pernapasan. Adapaun suara paru-paru yang biasanya terdeteksi oleh seorang dokter yaitu jenis suara Normal, Cracle, Wheeze, dan Cracle- Wheeze (Both).

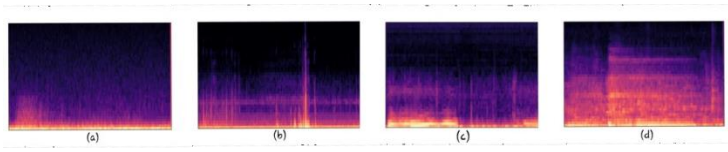

Fig. 1. Jenis Suara Paru-Paru. (a) Normal (b) Crackle (c) Wheeze (d) Cracle-Wheeze/Both

C. Convolutional Neural Network (CNN)

Convolutional Neural Network adalah salah satu metode machine learning dari pengembangan Multi Layer Perceptron (MLP) yang didesain untuk mengolah data dua dimensi (image). CNN termasuk dalam jenis Deep Neural Network karena dalamnya tingkat jaringan dan banyak diimplementasikan dalam data citra. CNN memiliki dua metode; yakni klasifikasi menggunakan feedforward dan tahap pembelajaran menggunakan backpropagation [6]. Cara kerja CNN memiliki kesamaan pada MLP, namun dalam CNN setiap neuron dipresentasikan dalam bentuk dua dimensi, tidak seperti MLP yang setiap neuron hanya berukuran satu dimensi.

D. Klasifikasi

Klasifikasi adalah proses menemukan suatu model (atau fungsi) yang menggambarkan dan membedakan kelas data atau konsep, dengan tujuan agar model tersebut dapat digunakan untuk memprediksi kelas dari objek yang label kelasnya belum diketahui .Klasifikasi digunakan secara luas pada data mining untuk mengelompokkan data ke dalam beragam kelas. Klasifikasi merupakan teknik data mining yang digunakan untuk memprediksi keanggotaan dari instansi data..

Klasifikasi terdiri dari dua proses yaitu model construction dan model usage. Model construction adalah proses mendeskrip- sikan sekumpulan kelas-kelas yang sebelumnya telah diketahui. Biasanya model yang terbentuk berupa rule klasifikasi, pohon keputusan, atau rumus matematis [8]. Sedangkan model usage merupakan proses mengelompokkan data di masa mendatang atau yang belum diketahui.

Pada tahapan klasifikasi, proses yang dilakukan berupa penelitian terhadap data yang biasanya sudah melakukan pre- processing terlebih dahulu. Tahapan pre-processing diperlukan agar data yang akan diolah dalam tahapan klasifikasi merupakandata yang diperlukan tanpa adanya tambahan (noise) yang akan mengganggu proses klasifikasi berlangsung. Pada tahap ini, data akan dilakukan proses klasifikasi mengunakan algoritma convolutional neural network (CNN). Pemilihan CNN didasarkan pada kemampuannya dalam mengolah data 2 dimensi. CNN akan digunakan untuk klasifikasi data spectrogram yang merupakan data yang berbentuk 2 dimensi. Dimana CNN merupakan algoritma yang mampu menangani data 2 dimensi dalam proses klasifikasinya.

E. Spectrogram

Spectrogram adalah representasi visual dari spektrum frekuensi sinyal karena bervariasi dengan waktu. Ketika diterapkan pada sinyal audio , spektogram kadang-kadang disebut sonograf , cetak suara , atau voicegrams . Ketika data direpresentasikan dalam plot 3D, mereka mungkin disebut air terjun . Spectrogram digunakan secara luas di bidang musik , sonar , radar , dan pemrosesan ucapan , seismologi , dan lainnya [7]. Spektrogram audio dapat digunakan untuk mengidentifikasi kata-kata yang diucapkan secara fonetis , dan untuk menganalisis berbagai panggilan hewan . Spektogram dapat dihasilkan oleh spektrometer optik , tepi filter band-pass , oleh transformasi Fourier atau oleh transformasi wavelet (dalam hal ini juga dikenal sebagai scaleogram) [5].

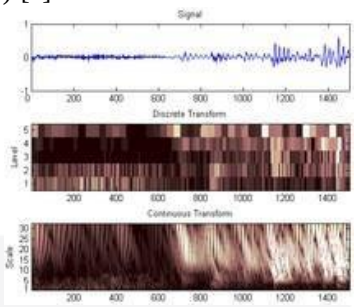

Fig. 2. Scaleogram dari DWT dan CWT untuk sampel audio [5]

F. Augmentasi

Augmentasi adalah suatu proses dalam pengolahan data gambar. Augmentasi merupakan proses mengubah atau memodifikasi gambar sedemikian rupa sehingga komputer akan mendeteksi bahwa gambar yang diubah adalah gambar yang berbeda, namun manusia masih dapat mengetahui bahwa gambar yang diubah tersebut adalah gambar yang sama.Dengan kata lain sebuah teknik memanipulasi sebuah data tanpa kehilangan inti atau esensi dari data tersebut. Contohnya dengan melakukan rotate, flip, crop, blur dan penambahan noise pada data gambar.

III. PERANCANGAN SISTEM

Metode penelitian ini diilustrasikan seperti dibawah ini. Dimana penelitian dimulai dengan adanya data suara paru-paru yang akan dilakukan preprocessing sesuai dengan tahapan metode yang akan dijalankan selanjutnya.

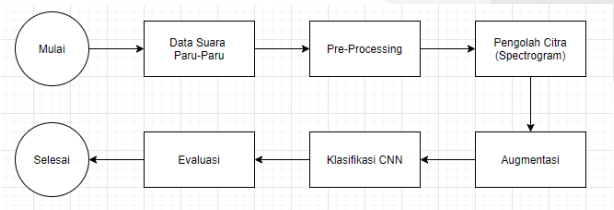

Fig. 3. Alur Metode Penelitian

A. Data Suara Paru-paru

Data suara paru-paru diperoleh dari data mentah. Data yang digunakan merupakan data suara paru-paru dalam format .wav sound. Data suara paru-paru tersebut akan diproses menjadi data sinyal untuk memperoleh hasil yang dapat menjadi data pelatihan dan data pengujian dalam penelitian ini. Hal ini di dasarkan pada metode ekstrasi ciri dan proses klasifikasi yang akan dilakukan dalam penelitian ini.

B. Preprocessing

Dalam tahapan ini, data suara yang telah didapatkan akan dilakukan tahap preprocessing. Data yang digunakan adalah data yang telah mendapatkan keadaan yang memenuhi kriteria pada saat penyeleksian. Proses yang dilakukan dengan slice data dan split data dari suara paru-paru.

C. Spectrogram

Proses perubahan dataset yang ada akan dilakukan dengan cara mengubah dataset yang sebelumnya berbentuk .wav (sinyal suara) menjadi data gambar 2 dimensi. Hal ini dilakukan bertujuan untuk keberlangsungan dari penelitian dalam klasifikasi yang akan terjadi dalam tahapan selanjutnya.

D. Augmentasi

Data Spectrogram akan diolah dengan memodifikasi gambar sedemikian rupa sehingga gambar yang sama akan digandakan dengan perspektif yang berbeda. Proses modifikasi meliputi beberapa hal yaitu dengan flip images (vertikal/horizontal), pen- gubahan scale images (80%-120%), dan rotate (memutar posisi) pada data gambar. Proses yang dilakukan pada augmentasi akan dijalankan oleh sistem meliputi proses modifikasi yang ada.

E. Klasifikasi Convolutional Neural Network (CNN)

Dalam penelitian ini digunakan algoritma Convolutional Neural Network (CNN) sebagai klasifikasi. CNN bisa memuat semua informasi dari keseluruhan skala yang bisa mengklasifikasikan objek dengan lebih akurat karena bisa menggunakan skala lebarnya juga (yang mungkin tidak akan terlihat oleh Neural Network lainnya yang berdimensi dua). Data spektogram dari suara paru-paru akan diklasifikasikan oleh CNN. Classification merupakan langkah untuk mengklasifikasikan tiap neuron yang telah diekstraksi fitur pada sebelumnya. Dimana setiap fitur akan disusun dan diidentifikasi sesuai dengan hasil yang didapatkan pada tahapan sebelumnya.

F. Evaluasi

Pada tahapan evaluasi, data yang telah dilakukan klasifikasi dan validasi akan mendapatkan hasil. Hasil tersebut kita gunakansebagai acuan untuk tahap ini. Pada penelitian ini, konsep untuk mendapatkan hasil yang optimal diperlukan agar proses yang dilakukan dapat memberikan hasil yang baik. Pengulangan atau perbaikan pada tahap selanjutnya dapat dilakukan agar hasil yang didapatkan sesuai dengan harapan yang dituju. Selain itu, dokumentasi penelitian juga dilaksanakan pada tahapan ini. Hal ini menjadi proses yang utama agar setiap tahapan dapat dipantau dan dijelaskan secara terstruktur mulai dari tahapan yang dilakukan pertama sampai tahap akhir untuk mendapatkan hasil yang optimal.

IV. SISTEM YANG DIBANGUN

A. Dataset Suara Paru-Paru

Dataset suara paru-paru berupa data .hea .txt dan .wav yang masing-masing berjumlah 274 data. Data tersebut merupakan data suara paru-paru yang akan digunakan dalam proses pembangunan sistem yang dibuat. Data yang akan digunakan dalam sistem yaitu data .wav dan .txt. Data .wav berupa data berbentuk suara yang memberikan data sinyal untuk proses pengubah an data kedalam spectrogram. Kemudian data .txt merupakan detail data suara Paru-paru berupa interval waktu suara tarikan nafas dan dorongan nafas.

B. Preprocessing

1) Slice Dataset: Memisahkan data yang digunakan sesuai dengan kelompok klasifikasi yang akan dilakukan yaitu normal (0), crackel (1), wheeze (2), dan crackel-wheeze/both (3). Data yang digunakan adalah data dengan bentuk .wav dalam dataset yang sudah disiapkan sebelumnya.Kemudian data yang sudah siap dengan bentuk .wav akan digunakan dengan mengetahui interval waktu yang terjadi mulai dari tarikan nafas/inheal (start resp) sampai membuang nafas/exheal (end resp). Identifikasi mengenai crackel dan wheeze juga mulai dikelompokkan.Membagi klasifikasi suara paru-paru kedalam beberapa kelas seperti dibawah ini.

0	0	Normal
1	0	Crackle
0	1	Wheeze
1	1	Crackle - Wheeze

Pembagian ini didasarkan pada karakteristik suara :

1. Jika suara tidak terdapat crackels (0) dan wheezes (0), maka suara termasuk normal.
2. Jika suara terdapat crackels (1) dan tidak ada wheezes (0), maka suara termasuk crackel.
3. Jika suara terdapat wheezes (1) dan tidak ada crackels (0), maka suara termasuk wheeze.
4. Jika suara terdapat crackels (1) dan tidak ada wheezes (1), maka suara termasuk crackel and wheeze (both).

Kemudian pembuatan kelas akan disesuaikan dengan data yang ada, dimana data akan diberikaan label untuk masing-masingkelas yang tersedia.

	file	start resp	end resp	label
0	371	0.022	1.064	0.0
1	371	1.064	3.722	2.0
2	371	3.722	6.450	2.0
3	371	6.450	9.379	2.0
4	371	9.379	12.536	2.0
...	...	...	...	...
2364	198	8.542	10.744	1.0
2365	198	10.744	12.958	1.0
2366	198	12.958	14.875	1.0
2367	198	14.875	16.946	1.0
2368	198	16.946	19.156	1.0

2369 rows × 4 columns

Fig. 4. Slice Dataset

2) Split Dataset: Memilih data secara acak yang akan diujikan untuk digunakan dalam proses selanjutnya. Data yang sudah dilakukan slice sesuai dengan kelasnya masing-masing akan dikelompokkan kembali dengan split data dengan membentuk label kelas yang sama sesuai karakteristiknya. Data tersebut dikelompokkan dalam beberapa folder yaitu train, valid, dan test. Hasil data yang sudah dikelompokkan akan dijadikan sebagai data untuk pengujian yang akan dilakukan pada proses selanjutnya. Berikut merupakan hasil dari split data yang sudah dijalankan.

```
total class 0 : 1251 . [ train : 0 - 750 . valid : 750 - 1000 . valid : 1000 - 1251 ]
total class 1 : 642 . [ train : 0 - 385 . valid : 385 - 513 . valid : 513 - 642 ]
total class 2 : 304 . [ train : 0 - 182 . valid : 182 - 243 . valid : 243 - 304 ]
total class 3 : 172 . [ train : 0 - 103 . valid : 103 - 137 . valid : 137 - 172 ]
```

Fig. 5. Split Dataset

C. Data Spectrogram

Memproses data spectrogram suara paru-paru dengan membagi dataset kedalam beberapa bagian sesuai dengan ketentuan dari krakteristik frekuensi data. Data yang sudah terbagi ke dalam folder dan kelasnya. Setiap data spectrogram yang sudah dilakukan akan dikelompokkan kedalam kelasnya masing-masing dengan tetap dalam data yang sudah terbagi kedalam 4 label data sebelumnya.

Dalam prosesnya digunakan scale yang berkisar dari 1-8. Ukuran yang digunakan dalam proses spectrogram adalah 1024 yang disesuaikan dengan standar ukuran gambar. Kemudian frequensi yang digunakan dalam pengerjaan sistem dari data suara Paru-paru yaitu 20 – 10000 Hz. Setelah proses perubahan dataset menjadi spectrogram akan dilakukan tahapan berikutnya yaitu proses augmentasi.

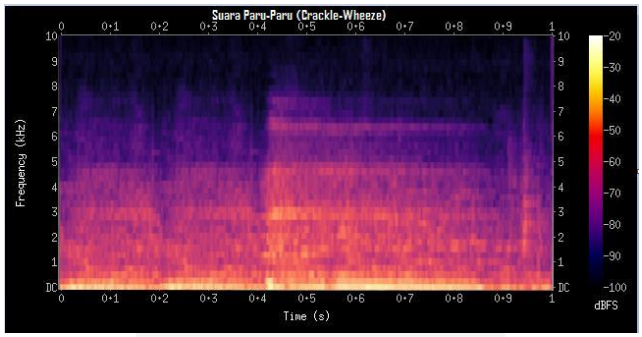

Fig. 6. Hasil Spectrogram

Dari gambar 6 di atas, dapat diketahui bahwa suara Paru-paru Crackle-Wheeze memiliki rentang frekuensi yang cukup tinggi dalam kisaran 6000-10000 Hz. Dengan salah satu contoh suara Paru-paru Cracle yang terjadi pada rentang waktu 0,933 detik
(t) dengan frekuensi sekitar 10000 Hz (f) dan memiliki rentang nilai dBfs yang signifikan terjadi pada suara Crackel.

D. Augmentasi

Pengambilan gambar hasil proses CWT spectrogram yang kemudian di proses dengan duplikasi data dengan ciri data yang dihasilkan. Dalam proses augmentasi ini, dikakukan berbagai kemungkinan yang akan diterapkan kedalamnya. Pertama, proses flip image yang diterapkan akan mengubah posisi yang berkebalikan baik secara vertical maupun horizontal. Ini memungkinkan gambar dapat terbaca secara terbalik dari data spectrogram sebelumnya. Kemudian perubahan scale image yang memberikan skala 80-120% dalam prosesnya yang dilakukan secara acak. Proses rotate image juga termasuk kedalamnya dimana spectrogram akan dibuat sedemikian rupa dengan mengatur rotasi dari image yang ada. Rotasi yang dilakukan berkisar pada 45 derajat sudut kemiringan, baik kesebelah kanan ataupun kesebelah kiri.

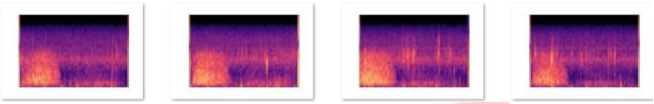

Fig. 7. Contoh Hasil Augmentasi Spectrogram

E. Klasifikasi Convolutional Neural Network (CNN)

Menggunakan proses kalsifikasi terhadap data yang sudah diperoleh pada tahap sebelumnya dengan CNN untuk mendapatkan hasil akurasi yang dijalankan oleh sistem. Architecture yang dibangun adalah architecture Residual Neural Network (ResNet) yang menggunakan skip connection. Dengan menggukan 18 layer yang terdiri dari lapisan conv1, conv2, conv3, conv4, dan conv5. ResNet memodifikasi network dengan adanya identity connection. Identity connection yang membentangi dari input layer hingga output layer disebut sebagai residual block, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

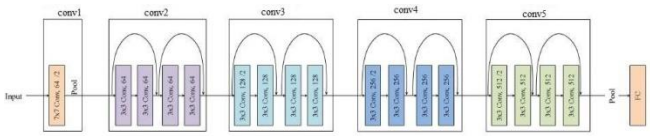

Fig. 8. Model Resnet 18 Layer yang digunakan

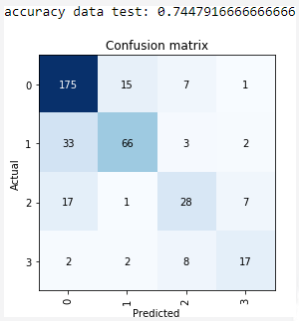

Fig. 9. Hasil Confusion matrix

Dari hasil confusion matrix di atas, dapat diketahui bahwa data hasil yang menyatakan bahwa nilai yang bersesuaian antara ketepatan dari nilai aktual dan prediksi menjadi hal utama dalam mencapai akurasi yang baik. Contohnya untuk data suara Paru-paru normal(0) mendapatkan hasil sebesar 175 data yang tepat sesuai aktual dan prediksinya yang menjadikannya sebagai nilai True Positif(TP). sedangkan hasil dari nilai aktual suara Paru-paru normal(0) yang tidak terprediksi dengan benar yaitu bernilai 15, 7, dan 1 yang masing-masing mendapatkan hasil prediksi suara Paru-paru Crackle, Wheeze, dan Crackle-Wheeze(both)yang menjadikannya sebagai nilai False Negatif(FN). Begitupun seterusnya untuk hasil data suara Paru-paru Crackle, Wheeze,dan Crackle-Wheeze(both).

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan proses klasifikasi dari sistem yang dibangun, maka didapatkan kesimpulan bahwa data suara Paru- paru yang berbentuk .wav dan .txt yang kemudian dilakukan proses selanjutnya dalam perubahan dataset menjadi data citra (spectrogram). Adapun proses augmentasi dari data spectrogram yang dilakukan menjadikan data memiliki jumlah yang berlipat untuk proses klasifikasi yang akan dijalankan dalam tahapan berikutnya. Hasil kalsifikasi spectrogram dengan CNN mendapatkan nilai akurasi sekitar 74% dengan menggunakan architecture Residual Neural Network 18 layer(Resnet18).

VI. SARAN

Untuk proses kedepannya, proses klasifikasi dapat dilakukan dengan metode lainnya untuk mengetahui hasil yang didapatkan sehingga dapat mengetahui metode yang dapat memproses data suara Paru-paru dengan lebih baik.

Referensi

[1] A. Rizal, R. Hidayat, H. A. Nugrorho. (2019). Comparison of Multilevel Wavelet Packet Entropy using Variois Entropy Measurement for Lung Sound Classification. International Journl of Advanced Computer Science and Aplication (IJACSA), 77-82.

[2] A.N. Akansu and Y. Liu. (July 1991). On Signal Decomposition Techniques. Optical Engineering Journal, special issue Visual Communications and Image Processing, vol.30, pp. 912-920.

[3] Bahoura, M. (2009). Pattern Recognition Methods Applied to Respiratory Sounds Classification into Normal and Wheeze Classes. Computers and Biology and Medicine, 39(9):824-843.

[4] Coifman RR., Wicherhouser MV. (1992). Entropy-Based Algorithms for Best Basis Selection. IEEE Transactions on Information Theory, 38(2).

[5] E. Sejdic, I. Djurovic, L. Stankovic . (2008). ”Quantitative Performance Analysis of Scalogram as Instantaneous Frequency Estimator”. IEEE Transactions on Signal Processing, 56 (8): 3837–3845. doi:10.1109/TSP.2008.924856. ISSN 1053-587X.

[6] F. Syafria, A. Buono, B. P. Silalahi. (2014). Lung Sound Recognition using MFCC as A Feature Extraction and Backpropagation as A Classifier. Jurnal Ilmu Komputer Agri-Informatika, 28-37.

[7] Flanagan, J. (1972). Speech Analysis, Synthesis and Perception. Jurnal Springer- Verlag, New York.

[8] R. Payam, T. Lei, L. Huan. (2008). Cross-Validation. Jurnal Arizona State University.

[9] Ramadhan, M. (2012). Perancangan Sistem Instrumentasi untuk Identifikasi dan Analisis Suara Paru-Paru Menggunakan DSP. TMS320C6416T [Skripsi] Universitas Indonesia.

[10] S. Aditya, A. Gunawan. (2007). Implementasi Deep Learning Berbasis Keras Untuk Pengenalan Wajah. Jurnal Emitor, Vol. 18 No. 01. ISSN 1411-8890.

[11] Sadowsky, J. (1996). Investigation of Signal Characteristics Using The Continuous Wavelet Transform . Johns Hopkins Apl Technical Digest 17.3, 258-269.

[12] B. Boashash, Time Frequency Signal Analysis and Processing, A Comprehensive Reference, First edit. Elsevier, 2003.

[13] J. L. Semmlow and B. Griffel, Biosignal and Medical Image Processing, Third Edit. CRC Press Book, 2014.

[14] G. N. Srinivasan and G. Shobha, “Statistical Texture Analysis,” in Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology Volume 36, 2008, vol. 36, no. December, pp. 1264– 1269.

[15] N. Aggarwal and R. K. Agrawal, “First and Second Order Statistics Features for Classification of Magnetic Resonance Brain Images,” J. Signal Inf. Process., vol. 2012, no. May, pp. 146–153, 2012.

[16] M. Bevk and I. Kononenko, “A Statistical Approach To Texture Description of Medical Images : A Preliminary Study,” in Proceedings of the 26th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems, 2002, p. 239.

[17] Y. P. Kahya, E. Bayatli, M. Yeginer, K. Ciftci, and G. Kilinc, “Comparison of different feature sets for respiratory sound classifiers,” Proc. 25th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. (IEEE Cat. No.03CH37439), pp. 2853–2856, 2003.

[18] R. Palaniappan, Biological Signal Analysis. Ventus Publishing ApS, 2010, p. 117.

[19] S. Reichert, R. Gass, C. Brandt, and E. Andrès, “Analysis of Respiratory Sounds : State of the Art,” Clin. Med. Circ. Respir. Pulm. Med., vol. 2, pp. 45–58, 2008.

[20] A. Mondal, P. Bhattacharya, and G. Saha, “Detection of lungs status using morphological complexities of respiratory sounds.,” Scientific World Journal., vol. 2014, pp. 1829–38, Jan. 2014.

[21] S. Ghassemi, M. Erico, ”Convolitional Neural Networks for On-Board Cloud Screening.,” Remote Sensing, MDPI., 2-12, 2019.