



TESIS - 185401

PERKIRAAN NILAI *BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND* BERDASARKAN NILAI PARAMETER AIR BAKU MENGGUNAKAN *RADIAL BASIS FUNCTION NETWORK* DAN *IMPROVEMENT RELATIONAL FUZZY C-MEANS CLUSTERING*

MUHAMMAD NOOR
NRP. 05111850010003

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Joko Lianto Buliali, M.Sc.
NIP. 196707271992031002

Departemen Teknik Informatika
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

[Halaman Ini Sengaja Dikосongkan]

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Komputer (M.Kom)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD NOOR
NRP: 05111850010003

Tanggal Ujian: 16 Januari 2020

Periode Wisuda: Maret 2020

Disetujui oleh:

Pembimbing:

1. Prof. Dr. Ir. Joko Lianto Buliali, M.Sc.
NIP: 196707271992031002


.....


Penguji:

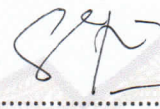
1. Dr. Ahmad Saikhu, S.Si., MT.
NIP: 197107182006041001

.....


2. Hadziq Fabroyir, S.Kom., Ph.D.
NIP: 198602272019031006

.....


3. Shintami Chusnul Hidayati, S.Kom., M.Sc., Ph.D.
NIP: 510010013

.....


Kepala Departemen Teknik Informatika
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas



Dr. Eni Chastine Fatichah, S.Kom., M.Kom.
NIP: 197512202001122002

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

PERKIRAAN NILAI *BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND* BERDASARKAN NILAI PARAMETER AIR BAKU MENGGUNAKAN *RADIAL BASIS FUNCTION NETWORK* DAN *IMPROVEMENT RELATIONAL FUZZY C-MEANS CLUSTERING*

Nama : Muhammad Noor
NRP : 05111850010003
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Joko Lianto Buliali, M.Sc.

ABSTRAK

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang menunjang kelangsungan hidup dan kehidupan manusia. Peraturan Pemerintah nomor 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas dan pengendalian pencemaran air telah menetapkan salah satu parameter dalam penentuan kualitas air, yaitu *Biochemical Oxygen Demand* (BOD). Nilai BOD menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikro organisme untuk menguraikan zat organik terlarut dan sebagian zat-zat organik yang tersuspensi di dalam air. Semakin tinggi nilainya menandakan bahwa semakin rendah kualitas air. Nilai BOD didapatkan melalui prosedur panjang di laboratorium dan waktu selama lima hari. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem untuk memperkirakannya secara langsung pada saat pengambilan sampel.

Penelitian ini melakukan perkiraan nilai BOD menggunakan metode *Radial Basis Function Network* dengan *Improvement Relational Fuzzy C-Means Clustering* (IRFCM). IRFCM digunakan untuk menentukan *centroid* dalam perhitungan fungsi aktivasi Gaussian. Data yang digunakan berasal dari rekaman data kualitas air baku mingguan antara tahun 2014-2019.

Hasil pengujian menunjukkan *Mean Absolute Error* sebesar 2.15465, *Mean Square Error* sebesar 7.72187, *Root Mean Square Error* sebesar 2.75870, *Mean Absolute Percentage Error* sebesar 20.11702, dan akurasi sebesar 79.88298 %.

Kata kunci: Kualitas Air, *Biochemical Oxygen Demand*, Perkiraan, *Radial Basis Function Network*, *Improvement Relational Fuzzy C-Means Clustering*.

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

ESTIMATION OF BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND BASED ON WATER PARAMETERS USING RADIAL BASIS FUNCTION NETWORK AND IMPROVEMENT RELATIONAL FUZZY C-MEANS CLUSTERING

By : Muhammad Noor
Student Identity Number : 05111850010003
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Joko Lianto Buliali, M.Sc.

ABSTRACT

Water is one of the natural resources that support living things. Government Regulation number 82 of 2001 concerning quality management and control of water pollution has set one of the parameters in determining water quality, namely *Biochemical Oxygen Demand* (BOD). Biochemical Oxygen Demand indicates the amount of oxygen needed by microorganisms to decompose dissolved organic substances that are suspended in water. The high value of BOD indicates low water quality. Obtaining this value requires a lengthy procedure of five days in typical laboratories.

This research proposes to estimate the BOD value using the Radial Basis Function Network with Improvement Relational Fuzzy C-Means Clustering (IRFCM). IRFCM is used to set centroid in the calculation of the Gaussian activation function. The dataset comes from weekly raw water quality data records between 2014-2019.

The result shows *Mean Absolute Error* 2.15465, *Mean Square Error* 7.72187, *Root Mean Square Error* 2.75870, *Mean Absolute Percentage Error* 20.11702, and accuracy 79.88298 %.

Keywords: Water Quality, Biochemical Oxygen Demand, Estimation, Radial Basis Function Network, Improvement Relational Fuzzy C-Means Clustering.

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. dan *shalawat* serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada *Rasulullah* Muhammad SAW. sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tesis dengan judul **“Perkiraan Nilai *Biochemical Oxygen Demand* Berdasarkan Nilai Parameter Air Baku Menggunakan *Radial Basis Function Network* dan *Improvement Relational Fuzzy C-Means Clustering*”** dengan baik.

Pada kesempatan ini, dengan segala kerendahan hati penulis ingin mengucapkan ribuan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya karena tanpa dukungan, dorongan, bimbingan dan bantuannya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tesis ini dengan baik, antara lain kepada :

1. Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan nikmat iman, islam, kesehatan, kesempatan, serta seluruh karunia yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian tesis ini dengan baik.
2. *Rasulullah* Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan dan membawa seluruh umat manusia menuju jalan yang di-ridhoi Allah SWT.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Joko Lianto Buliali, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan arahan serta mendidik dan membimbing penulis dengan sabar dalam menyelesaikan penelitian tesis ini.
4. Bapak Dr. Ahmad Saikhu, S.Si., MT., Bapak Hadziq Fabroyir, S.Kom., Ph.D., Ibu Shintami Chusnul Hidayati, S.Kom., M.Sc., Ph.D. dan Bapak Tohari Ahmad, S.Kom., MIT., Ph.D. selaku penguji yang telah memberikan banyak saran dan masukan yang membuat penelitian tesis ini menjadi lebih baik lagi.
5. Kedua orang tua, H. Syarifuddin dan Hj. Rohaniah serta kedua mertua H. Arbiati dan Hj. Riswati yang selalu memberikan dorongan semangat dan do'a kepada penulis untuk mencapai kesuksesan.
6. Isteri tercinta Riska Prahisti dan anak-anak Muhammad Kemal Pasha dan Aghniya Adelia Khalisha yang selalu memberikan dukungan dan setia menemani penulis selama menempuh pendidikan magister ini.
7. Menteri Kesehatan Republik Indonesia, Kepala Badan PPSDM Kesehatan Kemenkes RI, Kepala Pusat Peningkatan Mutu SDM Kesehatan Kemenkes RI

serta seluruh jajaran yang telah memberikan kesempatan dan beasiswa tugas belajar kepada penulis untuk melanjutkan pendidikan magister ini.

8. Direktur Politeknik Kesehatan Banjarmasin yang telah memberikan izin dan rekomendasi kepada penulis untuk memperoleh kesempatan mendapatkan beasiswa tugas belajar pada pendidikan magister ini.
9. Dekan Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi, Ketua Departemen Informatika, Ketua dan Sekretaris Program Pascasarjana Informatika yang telah memberikan izin menggunakan fasilitas kampus kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan pendidikan magister ini.
10. Seluruh dosen, staf laboratorium, staf tata usaha, dan karyawan departemen informatika ITS.
11. Seluruh civitas akademika Politeknik Kesehatan Banjarmasin yang telah memberikan dukungan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan pendidikan magister ini.
12. Seluruh anggota lab DTK : Pak Endyk, Bu Eviana, Bu Eni, Mas Tegar, dll.
13. Teman seperjuangan mahasiswa magister informatika angkatan 2018.
14. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu atas dukungan baik moral dan materil.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan limpahan karunia-Nya dan memberikan balasan pahala yang berlipat ganda kepada semuanya atas semua kebaikan yang telah diberikan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh sebab itu, saran dan masukan yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan dimasa yang akan datang.

Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan dapat memberi kontribusi bagi penelitian selanjutnya.

Surabaya, Januari 2020

Muhammad Noor

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1. 1. Latar Belakang	1
1. 2. Rumusan Masalah	5
1. 3. Tujuan Penelitian	5
1. 4. Manfaat Penelitian	5
1. 5. Kontribusi Penelitian	6
1. 6. Batasan Masalah	6
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	7
2. 1. Kualitas Air	7
2. 2. Parameter Air Baku	8
2. 3. <i>Biochemical Oxygen Demand (BOD)</i>	14
2. 4. Perkiraan BOD	17
2. 5. Normalisasi Data (Min-Max)	18
2. 6. <i>Fuzzy C-Means Clustering</i>	19
2. 7. <i>Improvement Relational Fuzzy C-Means Clustering</i>	22
2. 8. <i>Radial Basis Function Network</i>	24
2. 9. Validasi Silang	28
2. 10. Pengukuran Performa	29
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	31
3. 1. Studi Literatur	31
3. 2. Perancangan dan Implementasi Metode	32
3. 3. Pengujian dan Pengukuran Performa	39
3. 4. Analisa Hasil	48

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	49
4.1. Perangkat Implementasi.....	49
4.2. Implementasi Sistem.....	49
4.2.1. Preprocessing	49
4.2.2. <i>Clustering</i>	50
4.2.3. Perkiraan	51
4.3. Evaluasi Hasil	54
4.3.1. Pengujian dengan 5 <i>Fold</i>	59
4.3.2. Pengujian dengan 7 <i>Fold</i>	67
4.3.3. Pengujian dengan 10 <i>Fold</i>	76
4.4. Analisa Hasil.....	86
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	91
5.1. Kesimpulan	91
5.2. Saran	92
DAFTAR PUSTAKA.....	93
LAMPIRAN	97
BIODATA PENULIS.....	105

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kriteria Mutu Air Berdasarkan Parameter BOD.....	8
Tabel 2.2. Tingkat Pencemaran Perairan Berdasarkan Nilai BOD.....	17
Tabel 2.3. Ilustrasi <i>K-Fold Cross Validation</i>	28
Tabel 3.1. Distribusi Rekaman Data.....	39
Tabel 3.2. Sampel Parameter Kualitas Air.....	40
Tabel 3.3. Korelasi Pearson.....	45
Tabel 3.4. Pengukuran <i>p-Value</i>	46
Tabel 4.1. Normalisasi Data.....	50
Tabel 4.2. <i>K-fold Cross Validation</i>	50
Tabel 4.3. <i>Rescale</i> Hasil Perkiraan.....	55
Tabel 4.4. Pengukuran Performa MAE, MSE, RMSE, dan MAPE.....	56
Tabel 4.5. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 3 <i>Cluster</i> pada 5 <i>Fold</i>	59
Tabel 4.6. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 5 <i>Cluster</i> pada 5 <i>Fold</i>	60
Tabel 4.7. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 7 <i>Cluster</i> pada 5 <i>Fold</i>	61
Tabel 4.8. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 9 <i>Cluster</i> pada 5 <i>Fold</i>	62
Tabel 4.9. Performa Perkiraan pada 5 <i>Fold</i>	63
Tabel 4.10. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 3 <i>Cluster</i> pada 7 <i>Fold</i>	67
Tabel 4.11. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 5 <i>Cluster</i> pada 7 <i>Fold</i>	68
Tabel 4.12. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 7 <i>Cluster</i> pada 7 <i>Fold</i>	70
Tabel 4.13. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 9 <i>Cluster</i> pada 7 <i>Fold</i>	71
Tabel 4.14. Performa Perkiraan Nilai BOD pada 7 <i>Fold</i>	72
Tabel 4.15. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 3 <i>Cluster</i> pada 10 <i>Fold</i>	76
Tabel 4.16. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 5 <i>Cluster</i> pada 10 <i>Fold</i>	78
Tabel 4.17. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 7 <i>Cluster</i> pada 10 <i>Fold</i>	79
Tabel 4.18. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 9 <i>Cluster</i> pada 10 <i>Fold</i>	81
Tabel 4.19. Performa Perkiraan pada 10 <i>Fold</i>	83
Tabel 4.20. Perbandingan Performa pada Peningkatan Jumlah <i>Cluster</i>	87

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Topologi Radial Basis Function Network.....	25
Gambar 2.2. Hubungan Nilai Spread Dengan Pusatnya	25
Gambar 3.1. Diagram Alur Metodologi Penelitian.....	31
Gambar 3.2. Alur Metode Penelitian	32
Gambar 3.3. Alur Tahap Preprocessing	34
Gambar 3.4. Improvement Relational Fuzzy C-Means Clustering.....	36
Gambar 3.5. Fuzzy C-Means Clustering.....	37
Gambar 3.6. Alur Tahap Prediction RBFN.....	38
Gambar 3.7. Diagram Skenario Pengujian.....	47
Gambar 4.1. Hasil Perkiraan	58
Gambar 4.2. Hasil Pengukuran dari Pengujian 5 Fold dengan Evaluasi :	
(a) MAE, (b) MSE, (c) RMSE, dan (d) MAPE.....	65
Gambar 4.3. Standar Deviasi Hasil Pengukuran pada Pengujian 5 <i>Fold</i> dari	
Evaluasi : (a) MAE, (b) MSE, (c) RMSE, dan (d) MAPE.....	66
Gambar 4.4. Hasil Pengukuran dari Pengujian 7 Fold dengan Evaluasi :	
(a) MAE, (b) MSE, (c) RMSE, dan (d) MAPE.....	74
Gambar 4.5. Standar Deviasi Hasil Pengukuran pada Pengujian 7 <i>Fold</i> dari	
Evaluasi : (a) MAE, (b) MSE, (c) RMSE, dan (d) MAPE.....	75
Gambar 4.6. Hasil Pengukuran dari Pengujian 10 Fold dengan Evaluasi :	
(a) MAE, (b) MSE, (c) RMSE, dan (d) MAPE.....	85
Gambar 4.7. Standar Deviasi Hasil Pengukuran pada Pengujian 10 <i>Fold</i> dari	
Evaluasi : (a) MAE, (b) MSE, (c) RMSE, dan (d) MAPE.....	86
Gambar 4.8. Perbandingan Performa pada Perubahan Jumlah <i>Cluster</i> dengan	
Evaluasi : (a) MAE, (b) MSE, (c) RMSE, (d) MAPE, dan (e) Akurasi....	89

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai beberapa hal dasar dalam penelitian ini meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, kontribusi penelitian, dan batasan masalah.

1. 1. Latar Belakang

Air merupakan salah satu sumber daya alam sebagai bagian dari komponen lingkungan hidup yang penting bagi kelangsungan hidup dan kehidupan manusia. Air juga memiliki fungsi sangat penting bagi kehidupan dan perikehidupan manusia sehingga merupakan modal dasar dan faktor utama pembangunan. Peraturan pemerintah nomor 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas dan pengendalian pencemaran air menyebutkan bahwa mutu air adalah kondisi kualitas air yang diukur dan atau diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan metoda tertentu berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku (Pemerintah Republik Indonesia, 2001).

Biochemical Oxygen Demand (BOD) atau kebutuhan oksigen biologi didefinisikan sebagai banyaknya oksigen yang diperlukan oleh organisme pada saat pemecahan bahan organik pada kondisi aerobik. Pemecahan bahan organik diartikan bahwa bahan organik ini digunakan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energinya diperoleh dari proses oksidasi.

Pemeriksaan BOD tersebut dianggap sebagai suatu prosedur oksidasi dimana organisme hidup bertindak sebagai medium untuk menguraikan bahan organik menjadi CO_2 dan H_2O . Reaksi oksidasi selama pemeriksaan BOD merupakan hasil dari aktifitas biologis dengan kecepatan reaksi yang berlangsung sangat dipengaruhi oleh jumlah populasi dan suhu. Karenanya selama pemeriksaan BOD, suhu harus diusahakan konstan pada $20^{\circ}C$ yang merupakan suhu yang umum di alam. Secara teoritis, waktu yang diperlukan untuk proses oksidasi yang sempurna sehingga bahan organik terurai menjadi CO_2 dan H_2O adalah tidak terbatas. Dalam prakteknya di laboratorium, biasanya berlangsung selama 5 hari dengan anggapan bahwa selama waktu itu persentase reaksi cukup besar dari total BOD.

Nilai BOD 5 hari merupakan bagian dari total BOD. Nilai ini menunjukkan sekitar 70 - 80% dari nilai BOD total. Penentuan waktu inkubasi adalah 5 hari, dapat mengurangi kemungkinan hasil oksidasi ammonia (NH_3) yang cukup tinggi. Sebagaimana diketahui, bahwa ammonia sebagai hasil sampingan proses ini dapat dioksidasi menjadi nitrit dan nitrat, sehingga dapat mempengaruhi hasil penentuan BOD (Salmin, 2005).

Terdapat banyak penelitian yang dilakukan untuk memperkiraan nilai BOD dengan parameter dan metode yang digunakan berbeda-beda. Seperti yang telah dilakukan oleh Noori, dkk. dalam penelitiannya tahun 2013 mengemukakan bahwa salah satu indikator utama kualitas air permukaan adalah BOD. Metode pengukuran nilai BOD konvensional membutuhkan waktu yang lama hingga 5 hari masa inkubasi serta terlalu kompleks ketika digunakan dalam control proses. Sehingga penelitian ini mengusulkan penggunaan metode *Reduced-Order Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ROANFIS) untuk memperkirakan nilai BOD yang berasal dari sungai Sefidrood Iran (Noori, Safavi and Nateghi Shahrokni, 2013). Perkiraan nilai BOD juga penting ketika dihadapkan pada permasalahan penanganan air limbah, pengukuran potensi pemanfaatan kembali air limbah serta penentuan langkah-langkah yang akan dilakukan untuk memperbaiki kualitas air. Penelitian yang dilakukan oleh Rene, dkk pada tahun 2008 mengusulkan penggunaan *Artificial Neural Network* (ANN) dengan algoritma *Back Error Propagation* (BEP) untuk memperkirakan nilai BOD dari instalasi pengolahan air limbah sebuah perusahaan petrokimia (Rene and Saidutta, 2008). Pengolahan air limbah merupakan sebuah proses yang sangat kompleks. Melibatkan berbagai reaksi fisika dan kimia, karakteristik parameter yang nonlinier, waktu tunggu proses dan ketidakpastian hasil pengukuran menjadi tantangan tersendiri dalam pengolahan air limbah. Sehingga BOD sebagai salah satu parameter kualitas air, sangat penting agar dapat diperkirakan secara langsung. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perkiraan nilai BOD dilakukan menggunakan metode *T-S Fuzzy Neural Network* (TSFNN) (Qiao, Li and Han, 2014).

Penelitian lain dilakukan oleh Li, dkk. mengemukakan bahwa air memainkan peranan penting dalam kehidupan sehari-hari. Kualitas air dalam sebuah wilayah mempunyai efek yang sangat besar dalam keberlangsungan perkembangan industri lokal, pertanian dan aktifitas lainnya. Kualitas air sangat tergantung pada aktifitas manusia dan merupakan cerminan kondisi lingkungan sungai atau pelabuhan. Penelitian untuk memperkirakan nilai BOD menggunakan *ANN-Markov chain-SVR* dilakukan di pelabuhan Tolo Hongkong. Karena dalam beberapa waktu terakhir, kualitas air sangat menurun karena limbah industri dan rumah tangga yang tidak terkontrol. Limbah tersebut mencemari sungai dan pelabuhan. Perkiraan nilai BOD dilakukan untuk membantu pemerintah dalam mengendalikan pencemaran dan menjaga kualitas air (Li and Song, 2015). Penelitian lain dilakukan oleh Fanjun, dkk. tahun 2015 mengemukakan bahwa untuk memperbaiki kinerja perusahaan pengolahan air limbah adalah tersedianya pengukuran langsung terhadap indikator atau parameter utama kualitas air yang diolah. Perkiraan nilai BOD secara langsung sebagai salah satu indikator penting perlu dilakukan untuk mengevaluasi keberhasilan pengolahan air limbah. Sehingga penelitian ini mengusulkan penggunaan metode *Fast Growing Cascade Neural Network* (FGCNN) untuk memperkirakan nilai BOD dalam pengolahan air limbah salah satu perusahaan pengolahan air limbah di Beijing. Hal ini dilakukan karena pengukuran nilai BOD secara tradisional memakan waktu lama sehingga hasil pengukuran nilai BOD tidak bisa dilakukan secara langsung. Disamping itu, hasil pengukuran nilai BOD juga sangat dipengaruhi kondisi dan penanganan selama di laboratorium sehingga hasil pengukuran nilai BOD tidak begitu dapat dipercaya. Sehingga pengukuran nilai BOD secara tradisional sulit digunakan sebagai umpan balik untuk kontrol proses pengolahan air limbah (Fanjun, Junfei and Wei, 2015).

Beberapa penelitian tersebut melakukan perkiraan nilai BOD secara langsung menggunakan metode-metode kecerdasan buatan dengan harapan perkiraan nilai BOD dapat diperkirakan lebih awal agar dapat digunakan dalam pengambilan keputusan yang lebih cepat dan tepat dalam menyelesaikan suatu permasalahan.

Dalam penelitian ini perkiraan nilai BOD juga akan dilakukan dengan pendekatan kecerdasan buatan menggunakan rekaman pengukuran air baku

harian sebuah perusahaan. Parameter-parameter yang digunakan untuk memperkirakan nilai BOD berbeda dengan parameter-parameter yang digunakan pada penelitian-penelitian sebelumnya. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan parameter-parameter pengukuran air baku yang ada ketika digunakan dalam memperkirakan nilai BOD. Disamping itu, metode yang digunakan untuk memperkirakan nilai BOD dalam penelitian ini juga berbeda dengan penelitian sebelumnya karena dalam penelitian ini juga akan meneliti performa perkiraan dari metode yang digunakan.

Metode perkiraan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode *Radial Basis Function Network* (RBFN). RBFN merupakan salah satu metode *neural network* yang pertama kali diperkenalkan oleh David Broomhead dan David Lowe tahun 1988.

Topologi RBFN mempunyai tiga *layer* yaitu lapisan masukan (*input layer*), lapisan tersembunyi (*hidden layer*) dan lapisan keluaran (*output layer*). RBFN mempunyai karakteristik unik yaitu pemrosesan sinyal dari *input layer* ke *hidden layer* sifatnya nonlinier sedangkan dari *hidden layer* ke *output layer* sifatnya linear. Pada *hidden layer* digunakan sebuah fungsi aktivasi yang berbasis *radial*. Pada *output layer*, sinyal dijumlahkan seperti biasa. Sifat jaringannya ialah *feed-forward* (Haryono, 2005). Perhitungan fungsi aktivasi dalam metode RBFN sangat bergantung pada keakuratan penentuan *centroid* atau pusat *cluster* untuk mengukur jarak dari data dengan *centroid*.

Penentuan *centroid* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode *Improvement Relational Fuzzy C-Means* (IRFCM) *clustering* yang diperkenalkan oleh Mohammed A. Khalilia tahun 2014. Metode IRFCM merupakan pengembangan dari metode *Relational Fuzzy C-Means Clustering* (RFCM) untuk menyelesaikan permasalahan yang terdapat pada metode RFCM. Penggunaan metode IRFCM diharapkan dapat memberikan *centroid* yang optimal sehingga dapat meningkatkan akurasi dari perkiraan nilai BOD menggunakan metode *Radial Basis Function Network*.

1. 2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara melakukan perkiraan nilai BOD dengan *Radial Basis Function Network* menggunakan metode *Improvement Relational Fuzzy C-Means Clustering* untuk menentukan *centroid* berdasarkan nilai parameter air baku ?
2. Bagaimana cara mengukur performa perkiraan nilai BOD dengan *Radial Basis Function Network* menggunakan metode *Improvement Relational Fuzzy C-Means Clustering* untuk menentukan *centroid* berdasarkan nilai parameter air baku ?

1. 3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan perkiraan nilai BOD dengan *Radial Basis Function Network* menggunakan *Improvement Relational Fuzzy C-Means Clustering* untuk menentukan *centroid* berdasarkan nilai parameter air baku.
2. Melakukan evaluasi terhadap performa perkiraan nilai BOD dengan *Radial Basis Function Network* menggunakan *Improvement Relational Fuzzy C-Means Clustering* untuk menentukan *centroid* berdasarkan nilai parameter air baku.

1. 4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini adalah dapat memberikan perkiraan nilai BOD dengan *Radial Basis Function Network* menggunakan *Improvement Relational Fuzzy C-Means Clustering* untuk menentukan *centroid* berdasarkan nilai parameter air baku. Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu *stakeholder* terkait dalam memperkirakan nilai BOD secara langsung. Dengan adanya perkiraan nilai BOD ini dapat membantu menentukan kualitas air lebih cepat untuk menentukan tidak lanjut yang lebih cepat dan tepat.

1. 5. Kontribusi Penelitian

Kontribusi dari penelitian ini adalah perkiraan nilai BOD dengan *Radial Basis Function Network* menggunakan *Improvement Relational Fuzzy C-Means Clustering* untuk menentukan *centroid* berdasarkan nilai parameter air baku.

1. 6. Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan antara lain:

1. Dataset yang digunakan terdiri atas 11 parameter *input*, terdiri dari suhu, *turbidity*, warna, *pH*, alkalinitas, CO_2 bebas, *dissolve oxygen*, nitrit, amonia, fosfat, sulfida yang berasal dari hasil pengukuran air baku dan 1 parameter target nilai *biochemical oxygen demand (BOD)*.
2. Dataset berasal dari rekaman data kualitas air sebuah perusahaan mulai Januari 2014 sampai Februari 2019.
3. Parameter *input* tidak memperhitungkan waktu pengukuran dan kondisi pengambilan sampel.
4. Perkiraan BOD yang dilakukan hanya sewaktu, tidak dilakukan perkiraan untuk rentang waktu tertentu.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai referensi terkait penyelesaian masalah dalam penelitian. Beberapa hal yang dijelaskan pada bab ini yaitu tentang kualitas air, parameter air baku, kemudian dibahas tentang *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) serta metode-metode yang digunakan dalam memperkirakan nilai BOD.

2. 1. Kualitas Air

Air merupakan sumber daya alam yang memenuhi hajat hidup orang banyak sehingga perlu dilindungi agar dapat tetap bermanfaat bagi hidup dan kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya.

Air sebagai komponen lingkungan hidup akan mempengaruhi dan dipengaruhi oleh komponen lainnya. Air yang kualitasnya buruk akan mengakibatkan kondisi lingkungan hidup menjadi buruk sehingga akan mempengaruhi kondisi kesehatan dan keselamatan manusia serta kehidupan makhluk hidup lainnya. Penurunan kualitas air akan menurunkan daya guna, hasil guna, produktivitas, daya dukung dan daya tampung dari sumber daya air yang pada akhirnya akan menurunkan kekayaan sumber daya alam.

Pencemaran air diindikasikan dengan turunnya kualitas air sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan fungsinya. Tingkat tertentu tersebut adalah baku mutu air yang ditetapkan dan berfungsi sebagai tolok ukur untuk menentukan telah terjadinya pencemaran air.

Penetapan baku mutu air selain didasarkan pada peruntukannya, juga didasarkan pada kondisi nyata kualitas air yang mungkin berbeda antara satu daerah dengan daerah lainnya. Penetapan baku mutu air dengan pendekatan golongan peruntukkan disesuaikan dengan menerapkan pendekatan klasifikasi kualitas air (kelas air).

Peraturan pemerintah nomor 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air menyebutkan bahwa kualifikasi mutu air ditetapkan menjadi 4 kelas, yaitu :

Kelas satu, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang memper-syaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;

Kelas dua, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;

Kelas tiga, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;

Kelas empat, air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Dalam menentukan kelas kualitas air, salah satu parameter yang digunakan adalah nilai BOD seperti terdapat dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kriteria Mutu Air Berdasarkan Parameter BOD

Kelas	Parameter BOD
I	2
II	3
III	6
IV	12

Sumber : (Pemerintah Republik Indonesia, 2001)

2. 2. Parameter Air Baku

Pengukuran kualitas air dan air limbah sudah ditetapkan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) yang dikeluarkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN). Parameter-parameter air baku yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 11 parameter sebagai berikut :

1. Suhu

Suhu atau temperatur air adalah sebuah ukuran tinggi atau rendahnya panas air yang berada disuatu tempat. Air sendiri mempunyai kapasitas yang besar untuk dapat menyimpan panas sehingga menjadikan suhunya relatif konstan dibanding suhu udara.

Pengukuran suhu air dilakukan dengan memasukkan termometer air raksa kedalam air selama 2-5 menit hingga nilai suhu air yang terbaca pada thermometer stabil karena air raksa akan memuai atau menyusut sesuai dengan panas air yang diperiksa. Suhu air dapat terbaca pada skala yang terdapat pada termometer dengan satuan suhu air derajat *Celcius* ($^{\circ}\text{C}$) (Badan Standardisasi Nasional, 2005a).

2. *Turbidity*

Kekeruhan air (*turbidity*) disebabkan oleh banyaknya partikel bahan yang tersuspensi sehingga memberikan warna atau rupa air yang berlumpur dan kotor. Bahan-bahan yang menyebabkan kekeruhan meliputi lumpur, pasir, zat organik dan anorganik yang halus, plankton, mikroorganisme, maupun partikel-partikel yang tersuspensi lainnya.

Pengukuran kekeruhan air menggunakan alat yaitu *Nephelometer* yang memberikan hasil dalam satuan *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU). NTU adalah satuan standar untuk mengukur kekeruhan.

Pada alat *nephelometer*, sumber cahaya diproyeksikan melalui sampel cairan yang disimpan dalam wadah sampel transparan menggunakan sumber cahaya yang memiliki panjang gelombang relatif singkat sekitar 500 - 800 *nm* dan efektif digunakan untuk mendeteksi partikel dengan ukuran sangat kecil. Sedangkan untuk mendeteksi partikel dengan ukuran yang lebih besar, menggunakan sumber cahaya yang memiliki panjang gelombang lebih panjang sekitar 800 - 1100 *nm* (Badan Standardisasi Nasional, 2005b).

3. Warna

Air pada umumnya berwarna bening sampai kecoklatan, hal ini karena dipengaruhi oleh adanya ion logam (besi dan mangan), humus, plankton, tumbuhan air. Sehingga sebelum dilakukan pengukuran, dilakukan penyaringan dengan tujuan menghilangkan materi tersuspensi dalam air tanpa mengurangi keaslian warna air dengan cara disaring dengan kertas saring yang berpori 0,45 μm .

Pengukuran warna air dilakukan dengan alat *spektrofotometer* pada panjang gelombang 450 nm–465 nm. Pengukuran nilai warna sebenarnya (*true color*) berdasarkan hukum Beers. Satuan yang digunakan adalah mg/L Pt-Co berdasarkan warna standart yang dibuat dari unsur *Platimun-Cobalt* (Pt-Co) (Badan Standardisasi Nasional, 2011).

4. *pH*

pH (*Power of Hydrogen*) atau potensial hidrogen adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. *pH* merupakan ukuran konsentrasi ion hidrogen dari larutan. Pengukuran *pH* akan mengungkapkan jika larutan bersifat asam atau alkali (basa). Jika larutan tersebut memiliki jumlah molekul asam dan basa yang sama, *pH* dianggap netral dengan kadar *pH* 7,0. Apabila *pH* kurang dari 7,0 berarti air tersebut bersifat asam, sedangkan apabila *pH* air lebih dari 7,0 manandakan air tersebut bersifat basa.

Pengukuran *pH* air dilakukan dengan memasukkan alat berupa *pH* meter kedalam air yang akan diukur *pH* nya. Hasil pembacaan *pH* yang terdapat pada *pH* meter menunjukkan kadar *pH* yang terdapat pada air tersebut (Badan Standardisasi Nasional, 2004a).

5. Alkalinitas

Alkalinitas secara umum menunjukkan konsentrasi basa untuk menetralkan tambahan asam tanpa penurunan nilai *pH* larutan atau disebut juga pertahanan air terhadap pengasaman. Alkalinitas berperan dalam menentukan kemampuan air untuk mendukung pertumbuhan alga dan kehidupan air lainnya, hal ini dikarenakan pengaruh sistem *buffer* dari alkalinitas. Alkalinitas juga berfungsi sebagai *reservoir* untuk karbon organik. Sehingga alkalinitas sering digunakan sebagai faktor kesuburan air berdasarkan banyaknya kandungan senyawa karbonat dan bikarbonat ($CaCO_3$) dalam air.

Pengukuran alkalinitas dilakukan dengan mengukur jumlah konsentrasi total dari unsur basa yang terkandung dalam air dan biasa dinyatakan dalam mg/l calcium carbonat (mg/l $CaCO_3$) (Standar Nasional Indonesia, 1991).

6. CO_2 Bebas

Karbondioksida bebas diperlukan dalam proses fotosintesis oleh tumbuhan berdaun hijau. Karbendioksida yang terdapat di dalam air berasal dari berbagai sumber. Di antaranya difusi dari atmosfer secara langsung, air tanah yang melewati tanah organik, air hujan yang jatuh ke permukaan bumi secara teoritis memiliki kandungan karbendioksida sebesar 0,55 – 0,6 mg/l, hasil penguraian bahan organik di dasar perairan, hasil proses pernafasan (respirasi) hewan dan tumbuhan air, serta hasil proses pemecahan/penguraian senyawa-senyawa kimia.

Pengaruh karbendioksida terhadap kehidupan organisme air dapat secara langsung (proses respirasi) maupun tidak langsung (proses fotosintesis) karena dibutuhkan oleh tanaman berdaun hijau (berklorofil) untuk proses fotosintesis serta dapat mempertahankan kestabilan pH dalam air, terutama dalam bentuk senyawa karbonat/bikarbonat. Hal tersebut berarti dapat mempertahankan kondisi lingkungan perairan yang stabil untuk mendukung kehidupan organisme. Namun, kadar CO_2 bebas pada kisaran 15 ppm akan mempengaruhi kehidupan ikan (organisme akuatik) karena merupakan racun bagi organisme tersebut.

Pengukuran CO_2 bebas dilakukan dengan menambahkan natrium karbonat (Na_2CO_3) pada sampel air sampai larutan berwarna merah muda tipis (pink). Satuan pengukuran CO_2 bebas yang digunakan adalah mg/L CO_2 (Susana, 1988).

7. *Dissolved Oxygen*

Oksigen terlarut (*dissolved oxygen*), disingkat DO atau sering juga disebut dengan kebutuhan oksigen (*oxygen demand*) menunjukkan jumlah oksigen (O_2) yang tersedia dalam suatu badan air. Semakin besar nilai DO pada air, mengindikasikan air tersebut memiliki kualitas yang bagus.

Sebaliknya jika nilai DO rendah, dapat diketahui bahwa air tersebut telah tercemar. Pengukuran DO juga bertujuan melihat sejauh mana badan air mampu menampung biota air seperti ikan dan mikroorganisme. Selain itu kemampuan air untuk membersihkan pencemaran juga ditentukan oleh banyaknya oksigen dalam air.

Di dalam air, oksigen memainkan peranan dalam menguraikan komponen-komponen kimia menjadi komponen yang lebih sederhana. Oksigen memiliki kemampuan untuk beroksidasi dengan zat pencemar seperti komponen organik sehingga zat pencemar tersebut tidak membahayakan. Oksigen juga diperlukan oleh mikroorganisme, baik yang bersifat aerob serta anaerob, dalam proses metabolisme. Dengan adanya oksigen dalam air, mikroorganisme semakin giat dalam menguraikan kandungan dalam air. Apabila reaksi penguraian komponen kimia dalam air terus berjalan, maka kadar oksigen pun akan menurun. Pada akhirnya, oksigen yang tersedia tidak cukup untuk menguraikan komponen kimia tersebut. Keadaan yang demikian merupakan pencemaran berat pada air.

Pengukuran oksigen terlarut dilakukan dengan mencampurkan air dengan mangan sulfat ($MnSO_4$) dan alkali iodide azida hingga terbentuk gumpalan berwarna keruh, kemudian gumpalan dihilangkan dengan menambahkan asam sulfat (H_2SO_4) hingga menjadi bening. Kemudian tambahkan amilum/kanji hingga larutan berwarna biru dan tambahkan natrium tiosulfat ($Na_2S_2O_3$) sampai warna larutan hilang atau menjadi bening. Jumlah oksigen terlarut dinyatakan dengan satuan mg/L O_2 (Badan Standardisasi Nasional, 2004b).

8. Nitrit

Nitrit (NO_2) merupakan bentuk peralihan antara ammonia dan nitrat (nitrifikasi) dan antara nitrat dengan gas nitrogen (denitrifikasi) oleh karena itu, nitrit bersifat tidak stabil dengan keberadaan oksigen. Keberadaan nitrit dalam jumlah tinggi dapat membentuk senyawa N-nitroso yang bersifat karsinogenik, teratogenik, mutagenik yang dapat

membahayakan kesehatan karena dapat bereaksi dengan haemoglobin dalam darah, hingga darah tidak dapat mengangkut oksigen lagi.

Pengukuran nitrit dilakukan dengan menambahkan 1 ml larutan sulfanilamide dan 1 ml NED dihidrochlorida kemudian diukur menggunakan alat spektrofotometer dengan panjang gelombang 543 *nm*. Satuannya adalah mg/L N (Badan Standardisasi Nasional, 2004c).

9. Amonia

Amonia adalah senyawa kimia dengan rumus NH_3 dan bersifat mudah larut dalam air. Kandungan amoniak pada air umumnya berasal dari hasil ekskresi organisme yang terdapat pada air. Namun, kadar amoniak yang tinggi pada air dapat menunjukkan indikasi adanya pencemaran yang berasal dari limbah domestik, industri, dan limpasan pupuk pertanian.

Amoniak dengan konsentrasi beberapa mg/l saja apabila terkandung pada sistem perairan dapat merupakan racun bagi kehidupan air, terutama bagi kehidupan ikan karena adanya amoniak dapat mengurangi kandungan oksigen dalam air.

Pengukuran kadar amoniak dilakukan dengan mencampurkan air dengan fenol dan nitroprusid serta pereaksi natrium hipoklorid hingga larutan berwarna biru. Kemudian kepekatan warna diukur menggunakan alat spektrofotometer dengan panjang gelombang 640 *nm*. Satuan pengukuran amoniak yang digunakan adalah mg/L $NH_3 - N$ (Badan Standardisasi Nasional, 2005c).

10. Fosfat

Fosfat terdapat dalam air sebagai senyawa ortofosfat, polifosfat dan fosfat organis. Setiap senyawa fosfat tersebut terdapat dalam bentuk terlarut, tersuspensi atau terikat di dalam sel organisme dalam air. Fosfat dapat memasuki sungai melalui air buangan penduduk dan industri yang menggunakan bahan detergen yang mengandung fosfat, seperti industri logam dan sebagainya. Fosfat organis terdapat dalam air buangan penduduk (tinja) dan sisa makanan. Fosfat organis dapat pula terjadi dari ortofosfat yang terlarut melalui proses biologis karena baik bakteri maupun tanaman menyerap fosfat bagi pertumbuhannya.

Keberadaan senyawa fosfat dalam air sangat berpengaruh terhadap keseimbangan ekosistem perairan. Apabila kadar fosfat dalam air rendah ($< 0,01$ mg P/L), pertumbuhan ganggang akan terhalang, keadaan ini dinamakan oligotrop. Sebaliknya bila kadar fosfat dalam air tinggi, pertumbuhan tanaman dan ganggang tidak terbatas lagi (keadaan eutrop), sehingga dapat mengurangi jumlah oksigen terlarut air. Hal ini tentu sangat berbahaya bagi kelestarian ekosistem perairan.

Pengukuran kadar fosfat dilakukan dengan menambahkan 1 tetes indikator fenolftalin pada air yang diuji. Apabila terbentuk warna merah muda, ditambahkan asam sulfat (H_2SO_4 5N) hingga warna hilang. Kemudian sampel dimasukkan ke dalam alat spektrofotometer dan dilakukan pengukuran dengan panjang gelombang 88 nm. Satuan yang digunakan adalah mg/L $PO_4 - P$ (Badan Standardisasi Nasional, 2005d).

11. Sulfida

Hidrogen sulfida (H_2S) adalah gas yang beracun, tidak berwarna, mudah terbakar dan berbau seperti telur busuk. Gas ini dapat timbul dari aktivitas biologis ketika bakteri mengurai bahan organik dalam keadaan tanpa oksigen (aktivitas anaerobik). Efek fisik paparan H_2S pada tingkat rendah dapat menyebabkan terjadinya gejala-gejala sakit kepala atau pusing, batuk-batuk, badan terasa lesu, hilangnya nafsu makan, kulit terasa perih, rasa kering pada hidung, tenggorokan dan dada.

Pengukuran sulfida menggunakan alat spektrofotometer dengan panjang gelombang 664 nm karena Sulfida akan berwarna biru metilen sebagai reaksi dari pencampuran dengan ferri klorida dan dimetil-p-fenilendiamina. Satuan yang digunakan dalam pengukuran sulfida adalah mg/L H_2S (Badan Standardisasi Nasional, 2009).

2. 3. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

Biochemical Oxygen Demand (BOD) atau kebutuhan oksigen biologi didefinisikan sebagai banyaknya oksigen yang diperlukan oleh organisme pada kondisi aerobik saat pemecahan bahan organik. Pemecahan bahan organik

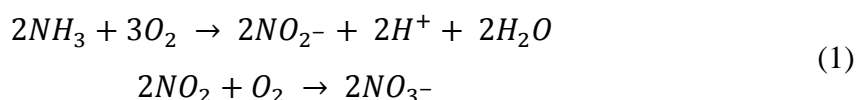
diartikan bahwa bahan organik ini digunakan oleh organisme sebagai bahan makanan dan energinya diperoleh dari proses oksidasi.

Parameter BOD, secara umum banyak dipakai untuk menentukan tingkat pencemaran air. Penentuan BOD merupakan suatu prosedur bioassay yang menyangkut pengukuran banyaknya oksigen yang digunakan oleh organisme selama organisme tersebut menguraikan bahan organik yang ada dalam suatu perairan, pada kondisi yang hampir sama dengan kondisi yang ada di alam. Selama pemeriksaan BOD, contoh yang diperiksa harus bebas dari udara luar untuk mencegah kontaminasi dari oksigen yang ada di udara bebas. Konsentrasi air buangan/sampel tersebut juga harus berada pada suatu tingkat pencemaran tertentu, hal ini untuk menjaga supaya oksigen terlarut selalu ada selama pemeriksaan. Hal ini penting diperhatikan mengingat kelarutan oksigen dalam air terbatas dan hanya berkisar ± 9 ppm pada suhu 20°C .

Penguraian bahan organik secara biologis di alam, melibatkan bermacam-macam organisme dan menyangkut reaksi oksidasi dengan hasil akhir karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O). Pemeriksaan BOD tersebut dianggap sebagai suatu prosedur oksidasi dimana organisme hidup bertindak sebagai medium untuk menguraikan bahan organik menjadi CO_2 dan H_2O . Reaksi oksidasi selama pemeriksaan BOD merupakan hasil dari aktifitas biologis dengan kecepatan reaksi yang berlangsung sangat dipengaruhi oleh jumlah populasi dan suhu. Karenanya selama pemeriksaan BOD, suhu harus diusahakan konstan pada 20°C yang merupakan suhu yang umum di alam. Secara teoritis, waktu yang diperlukan untuk proses oksidasi yang sempurna sehingga bahan organik terurai menjadi CO_2 dan H_2O adalah tidak terbatas. Dalam prakteknya di laboratorium, biasanya berlangsung selama 5 hari dengan anggapan bahwa selama waktu itu persentase reaksi cukup besar dari total BOD. Nilai BOD 5 hari merupakan bagian dari total BOD. Nilai ini menunjukkan sekitar 70 - 80% dari nilai BOD total.

Penentuan waktu inkubasi adalah 5 hari, karena dapat mengurangi kemungkinan hasil oksidasi ammonia (NH_3) yang cukup tinggi. Sebagaimana diketahui, bahwa ammonia sebagai hasil sampingan dari proses ini dapat dioksidasi menjadi nitrit dan nitrat. Hal ini dapat mempengaruhi hasil penentuan

BOD. Oksidasi nitrogen anorganik ini memerlukan oksigen terlarut, sehingga perlu diperhitungkan. Reaksi kimia yang dapat terjadi adalah :



Menurut salmin, dalam praktek untuk penentuan BOD yang berdasarkan pada pemeriksaan oksigen terlarut (DO), biasanya dilakukan secara langsung atau dengan cara pengenceran. Prosedur secara umum adalah menyesuaikan sampel pada suhu 20°C dan mengalirkan oksigen atau udara kedalam air untuk memperbesar kadar oksigen terlarut dan mengurangi gas yang terlarut, sehingga sampel mendekati kejenuhan oksigen terlarut. Dengan cara pengenceran pengukuran BOD didasarkan atas kecepatan degradasi biokimia bahan organik yang berbanding langsung dengan banyaknya zat yang tidak teroksidasi pada saat tertentu. Kecepatan dimana oksigen yang digunakan dalam pengenceran sampel berbanding lurus dengan persentase sampel yang ada dalam pengenceran dengan anggapan faktor lainnya adalah konstan. Contohnya 10% pengenceran akan menggunakan 1/10 dari kecepatan penggunaan sampel 100% (Salmin, 2005).

Dalam hal dilakukan pengenceran, kualitas airnya perlu diperhatikan dan secara umum yang dipakai aquades yang telah mengalami demineralisasi. Untuk analisis air laut, pengencer yang digunakan adalah *standard sea water* (SSW). Derajat keasaman (*pH*) air pengencer biasanya berkisar antara 6,5 - 8,5 untuk menjaga agar *pH*-nya konstan bisa digunakan larutan penyangga (*buffer*) fosfat. Untuk menentukan BOD, terlebih dahulu diukur DO nya (DO 0 hari), sementara sampel yang lainnya diinkubasi selama 5 hari pada suhu 20°C, selanjutnya setelah 5 hari diukur DO nya (DO 5 hari). Kadar BOD ditentukan dengan rumus :

$$5 \times [kadar \{ DO(0 \text{ hari}) - DO (5 \text{ hari}) \}] \text{ ppm} \quad (2)$$

Selama penentuan oksigen terlarut, baik untuk DO maupun BOD perlu diusahakan agar sampel yang diperiksa tidak terjadi kontak langsung dengan udara bebas. Khusus untuk penentuan BOD, sebaiknya digunakan botol sampel BOD dengan volume 250 ml dan semua isinya dititrasi secara langsung. Perhitungan kadar DO nya :

$$DO, ml/L = B/B - 2 \times 5,6 \times 10 \times N \times V \quad (3)$$

dimana :

- B = volume botol sampel BOD = 250 ml
B – 2 = volume air dalam botol sampel setelah ditambah
1 ml larutan $MnCl_2$ dan 1 ml $NaOH - Kl$.
5,6 = konstanta yang sama dengan ml oksigen ~ 1 mgrek tiosulfat
10 = volume $K_2Cr_2O_7$ 0,01N yang ditambahkan
N = normalitas tiosulfat
V = volume tiosulfat yang dibutuhkan untuk titrasi.

Tingkat pencemaran air didasarkan pada nilai BOD seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Tingkat Pencemaran Perairan Berdasarkan Nilai BOD

Tingkat Pencemaran	Parameter BOD
Rendah	0 – 10
Sedang	10 – 20
Tinggi	25

Sumber : (Salmin, 2005)

2. 4. Perkiraan BOD

Industrialisasi dan perkembangan permukiman merupakan salah satu alasan meningkatnya pencemaran air sungai dan danau sehingga analisa kualitas air menjadi suatu kebutuhan. Salah satu parameter penting dalam analisa kualitas air adalah nilai BOD. Semakin tinggi nilai BOD akan menurunkan kadar oksigen dalam air (Solgi *et al.*, 2017). Nilai BOD digunakan untuk mengukur tingkat pencemaran dan melihat kualitas air sungai atau danau yang airnya dimanfaatkan oleh masyarakat luas, tumbuhan dan hewan yang hidup disekitarnya (Noori, Safavi and Nateghi Shahrokni, 2013) (Ahmed and Shah, 2017).

Penentuan nilai BOD harus melalui proses yang rumit dan membutuhkan waktu lama menjadi masalah tersendiri bagi *stake holder* yang menggunakan nilai BOD sebagai salah satu parameter dalam pengambilan keputusan. Sehingga perkiraan nilai BOD seringkali digunakan sebagai solusi terhadap masalah tersebut.

Dalam pengelolaan lingkungan hidup, air memainkan peranan penting bagi kehidupan. Kualitas air sangat tergantung pada aktifitas manusia dan merupakan cerminan kondisi lingkungan. Menurunnya kualitas air yang karena tidak

terkontrolnya pembuangan limbah industri dan rumah tangga yang mencemari sungai. Dalam hal ini, perkiraan nilai BOD dilakukan untuk membantu pemerintah dalam mengendalikan pencemaran air dan menjaga kualitas air (Li and Song, 2015).

Sedangkan dunia industri pengolahan air konsumsi ataupun pengolahan air limbah. Nilai parameter BOD sangat penting untuk menentukan kualitas air yang selanjutnya digunakan untuk melihat efektifitas *treatment* yang sudah dilakukan ataupun untuk menentukan langkah-langkah selanjutnya yang akan dilakukan. Seperti dalam penanganan air limbah, perkiraan nilai BOD penting dalam mengukur potensi pemanfaatan kembali air limbah maupun penentuan langkah-langkah yang akan dilakukan untuk memperbaiki kualitas air (Rene and Saidutta, 2008). Pengolahan air limbah merupakan sebuah proses yang sangat kompleks yang melibatkan berbagai reaksi fisika dan kimia. BOD sebagai salah satu parameter kualitas air digunakan untuk mengukur efektifitas proses pengolahan air limbah. Pengukuran BOD secara konvensional membutuhkan waktu selama 5 hari. Pengukuran ini terlalu lama dan hasilnya tidak dapat digunakan untuk memonitor proses pengolahan air limbah yang berlangsung dinamis. Nilai BOD dapat diperkirakan secara langsung merupakan hal yang sangat penting (Qiao, Li and Han, 2014). Dalam memperbaiki kinerja perusahaan pengolahan air limbah adalah tersedianya pengukuran langsung terhadap indikator atau parameter utama kualitas air yang diolah. Perkiraan nilai BOD secara langsung sebagai salah satu kebutuhan yang perlu dilakukan untuk mengevaluasi keberhasilan pengolahan air limbah (Fanjun, Junfei and Wei, 2015).

2. 5. Normalisasi Data (Min-Max)

Praproses merupakan sebuah tahap awal yang harus dilakukan dalam data *mining*. Tujuan praproses dalam data *mining* adalah untuk mempersiapkan data mentah sebelum dilakukan proses selanjutnya. Praproses data dilakukan dengan cara mengeliminasi data yang tidak sesuai atau mengubah data menjadi bentuk yang lebih mudah diproses oleh sistem. Selain itu, praproses data juga dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, pengurangan waktu perhitungan

komputasi, dan membuat rentang nilai data menjadi lebih kecil tanpa merubah informasi yang terdapat didalamnya.

Perbedaan rentang nilai pada setiap atribut menyebabkan tidak berfungsinya atribut yang memiliki nilai jauh lebih kecil dibandingkan dengan atribut-atribut yang memiliki nilai lebih besar. Oleh karena itu, diperlukan adanya transformasi data dengan cara normalisasi. Normalisasi adalah proses penskalaan nilai data pada setiap atribut sehingga bisa terletak pada rentang tertentu.

Salah satu metode normalisasi adalah min-max. Normalisasi min-max merupakan metode normalisasi dengan melakukan transformasi linier terhadap data asli sehingga menghasilkan keseimbangan nilai perbandingan antar data saat sebelum dan sesudah proses. Perhitungan normalisasi min-max menggunakan rumus berikut :

$$Normalized [x] = \frac{minValue + (x - minValue)(maxValue - minValue)}{maxValue - minValue} \quad (4)$$

Metode min-max normalization dilakukan dengan mengolah nilai minimum dan maksimum dari setiap atribut. Rentang yang sering digunakan dalam metode ini adalah 0 – 1 (Nasution, Khotimah and Chamidah, 2019).

2. 6. *Fuzzy C-Means Clustering*

Dalam data *mining*, Pengelompokan data atau *clustering* merupakan suatu metode yang cara kerjanya mencari dan mengelompokkan data yang mempunyai kemiripan karakteristik antara data satu dengan data lainnya (Agustina and Prihandoko, 2018).

Logika *fuzzy* merupakan suatu cara untuk memetakan permasalahan dari *input* menuju ke *output* yang diharapkan yang pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Logika *fuzzy* dapat juga digunakan untuk *clustering* data yang merupakan salah satu metode untuk menentukan *cluster* optimal dalam suatu ruang vektor yang didasarkan pada bentuk normal Euclidian untuk jarak antar vector (Febrianti, Hafiyusholeh and Asyhar, 2016).

Fuzzy C-Means (FCM) pertama kali diperkenalkan oleh Jim Bezdek pada tahun 1981. *FCM* adalah suatu teknik *clustering* yang mana keberadaan tiap-tiap

titik data dalam suatu *cluster* ditentukan oleh derajat keanggotaan (Mas'udia, Arinie and Mustafa, 2018)

Pada kondisi awal, *centroid* masih belum akurat sehingga dibutuhkan perbaikan *centroid* secara berulang hingga berada pada titik yang tepat. Setiap data akan memiliki derajat keanggotaan untuk setiap *clusternya* (Afifah, Rini and Lubab, 2016).

Terdapat dua proses utama dalam FCM yaitu menghitung titik *centroid* dan penegasan titik data ke *centroid* menggunakan *Euclidean distance*. Proses ini berulang sampai titik *centroid* stabil.

Tahapan-tahapan dalam algoritma FCM adalah sebagai berikut :

1. Masukkan data yang akan diklaster, berupa matriks berukuran $n \times m$.
Dimana n = jumlah data dan m = atribut data. Sedangkan X_{ij} = data ke- i ($i = 1,2... n$) dan atribut ke- j ($j = 1,2... m$).
2. Tentukan :
 - a. Jumlah *cluster* yang diinginkan (c)
 - b. Pangkat pembobot (w)
 - c. Maksimum iterasi (MaxIter)
 - d. Error terkecil yang diharapkan (ϵ)
 - e. Fungsi objektif awal = $P_0 = 0$
 - f. Iterasi awal = $t = 1$
3. Bangkitkan nilai acak μ_{ik} , dimana $i = 1,2... n$ dan $k = 1,2... c$ sebagai elemen-elemen matriks partisi awal u. μ_{ik} adalah derajat keanggotaan yang merujuk pada seberapa besar kemungkinan suatu data bisa menjadi anggota ke dalam suatu *cluster*.

Hitung jumlah setiap kolom (Q_i) dengan rumus :

$$Q_i = \sum_{k=1}^c \mu_{ik} \quad (5)$$

Kemudian hitung derajat keanggotaan data pada tiap *cluster* (μ_{ik}) :

$$\mu_{ik} = \frac{\mu_{ik}}{Q_i} \quad (6)$$

4. Hitung pusat *cluster* ke- k : V_{kj} dengan $k = 1, 2, \dots, c$ dan $j = 1, 2, \dots, m$.

$$V_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n ((\mu_{ik})^w * X_{ij})}{\sum_{i=1}^n (\mu_{ik})^w} \quad (7)$$

dimana,

V_{kj} = titik pusat *cluster*

X_{ij} = data

μ_{ik} = derajat keanggotaan data pada tiap *cluster*

5. Hitung fungsi objektif pada iterasi ke- t (P_t).

Fungsi objektif digunakan sebagai syarat perulangan untuk mendapatkan *centroid* yang tepat. Sehingga diperoleh kecenderungan data untuk masuk ke *cluster* mana pada step akhir.

$$P_t = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c \left(\left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right] (\mu_{ik})^w \right) \quad (8)$$

dengan,

P_t = fungsi objektif

X_{ij} = data

V_{kj} = titik pusat *cluster*

μ_{ik} = derajat keanggotaan data pada tiap *cluster*

w = pembobot

6. Hitung perubahan matriks partisi (μ) dengan $i = 1, 2, \dots, n$ dan $k = 1, 2, \dots, c$:

$$\mu_{ik} = \frac{\left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1}{w-1}}}{\sum_{k=1}^c \left[\sum_{j=1}^m (X_{ij} - V_{kj})^2 \right]^{\frac{-1}{w-1}}} \quad (9)$$

dimana :

X_{ij} = data

V_{kj} = titik pusat *cluster*

μ_{ik} = derajat keanggotaan data pada tiap *cluster*

w = pembobot

7. Cek kondisi berhenti :

- Jika $(|P_t - P_{t-1}| < \varepsilon)$ atau $(t > \text{maxIter})$, maka proses berhenti.
- Jika tidak, $t = t + 1$ kemudian ulangi langkah keempat.

Output yang dihasilkan dari FCM merupakan deretan *centroid* dan derajat keanggotaan untuk tiap-tiap titik data.

2.7. *Improvement Relational Fuzzy C-Means Clustering*

Metode *Improvement Relational Fuzzy C-Means (IRFCM) Clustering* pertama kali diperkenalkan oleh Mohammed A. Khalilia pada tahun 2014 untuk menyelesaikan permasalahan pada metode *Relational Fuzzy C-Means (RFCM) Clustering* (Khalilia *et al.*, 2014).

Metode RFCM yang diperkenalkan oleh Richard J. Hathaway, dkk pada tahun 1989 menggunakan hubungan berpasangan yang disimpan dalam matrik R (Hathaway, Davenport and Bezdek, 1989).

Matriks $R = [ij]$ merupakan hubungan antara oi dan oj . Hubungan ketidaksamaan matriks R dilambangkan dengan matriks $D = [d_{ij}]$, sehingga seharusnya menjadi tiga kondisi :

1. $d_{ii} = 0$ dimana $i = 1, \dots, n$; yang disebut hubungan *self-dissimilarity*.
2. $d_{ij} \geq 0$ dimana $i = 1, \dots, n$; dan $j = 1, \dots, n$; yang disebut hubungan *non-negativity*.
3. $d_{ij} = d_{ji}$ dimana $i = 1, \dots, n$; dan $j = 1, \dots, n$; yang disebut hubungan *symmetry*.

Tahapan-tahapan dalam RFCM adalah sebagai berikut :

1. Masukkan data yang akan diklaster, berupa matriks $D = [d_{ij}]$ yang berisi hubungan antara oi dan oj .
2. Tentukan :
 - a. Jumlah *cluster* yang diinginkan (c)
 - b. Fuzziness ($m > 1$), default ($m = 2$)
 - c. Banyaknya Iterasi T_{max} (default $T_{max} = 100$) dimana iterasi awal = 1
 - d. Error terkecil yang diharapkan (ε) dimana default $\varepsilon = 0.0001$ sebagai *step* awal.

3. Membangkitkan nilai acak *centroid relational* :

$$V_R^0 = (V_{R,1}^0, V_{R,2}^0, \dots, V_{R,c}^0), V_{R,i}^0 \in \mathbb{R}^n \quad (10)$$

4. Hitung jarak relasi :

$$d_{R,ik} = (Dv_{R,i}^{t-1})_k - \frac{1}{2}(v_{R,i}^{t-1})^T (Dv_{R,i}^{t-1})_k \quad (11)$$

dimana $1 < i < c$ dan $1 < k < n$

5. Apabila jarak relasi $\neq 0$, maka :

$$\mu_{ik} = 1 / \left(\frac{d_{R,ik}}{\sum_{j=1}^c d_{R,ik}} \right)^{1/(m-1)} ; \forall i \quad (12)$$

Jika jarak relasi = 0, maka :

$$\text{Set } \mu_{ik} > 0 \text{ dimana } d_{R,ik} = 0, \mu_{ik} \in [0,1] \text{ dan } \sum_{j=1}^c \mu_{ik} = 1$$

6. Pembaruan *centroid* :

$$V_{R,i}^t = (\mu_{i1}^m, \dots, \mu_{in}^m) / \sum_{k=1}^n \mu_{ik}^m \text{ dimana } 1 \leq i \leq c \quad (13)$$

7. Cek kondisi berhenti :

- Jika $(|V_R^{(t)} - V_R^{(t-1)}| < \varepsilon)$ atau $(t > \text{maxIter})$, maka proses berhenti.
- Jika tidak, $t = t + 1$ kemudian ulangi langkah keempat.

Dalam metode RFCM terdapat kelemahan ketika jarak relasi kurang dari 0 atau *non-euclidean* maka RFCM tidak dapat melakukan perhitungan, sehingga metode IRFCM dikembangkan untuk mengatasi masalah yang muncul agar jarak relasi tetap menghasilkan nilai positif. Dalam IRFCM dilakukan perubahan pada matrik D yang kemudian digunakan dalam penentuan pusat *cluster* menggunakan metode RFCM.

Tahapan-tahapan dalam algoritma IRFCM sebagai berikut :

1. Menentukan *positive semi-definite* (p.s.d) :

$$D_{0.5} = -1/2D \quad (14)$$

$$W(D_{0.5}) = PD_{0.5}P$$

2. Apabila $W(D_{0.5})$ bukan merupakan *positive semi-definite* (p.s.d), maka :

$$\Delta_{0.5} = -1/2\Delta, \text{ dimana } \Delta \in \{\Delta^\beta, \Delta^{SU}, \Delta^{PF}, \Delta^{EF}, \Delta^{LF}, \} \quad (15)$$

3. Menghitung nilai γ dengan cara :

$$\gamma = -\lambda(D_{0.5}, \Delta_{0.5}) \quad (16)$$

4. Menghitung nilai \tilde{D} dengan cara :

$$\tilde{D} = D + \gamma\Delta \quad (17)$$

5. Menetapkan nilai D baru dengan cara :

$$\tilde{D} = D \quad (18)$$

6. Melakukan *clustering* menggunakan metode RFCM.

Metode transformasi pada matrik D yang digunakan dalam IRFCM sebagai berikut :

1. β -Spread

$$\Delta\beta = 11^T - I; \beta > 0 \quad (19)$$

2. Subdominant Ultrametric (SU)

$$\Delta^{SU} = [\delta_{ij}^{SU}] \quad (20)$$

$$\delta_{ij}^{SU} = \max\{d_{v_k v_{k+1}} \in P_k \mid P_k = (i = v_0, v_1, \dots, v_k, v_{k+1} = j) \in MST(D)\}$$

MST(D) adalah *minimum spanning tree*

3. Power Fit (PF)

$$\Delta^{PF} = D^\alpha; 0 < \alpha \leq 1 \quad (21)$$

4. Exponential Fit (EF)

$$\Delta^{EF} = \left(11^T - e^{-\alpha\sqrt{D}}\right)^2; \alpha > 0 \quad (22)$$

5. Log Fit (LF)

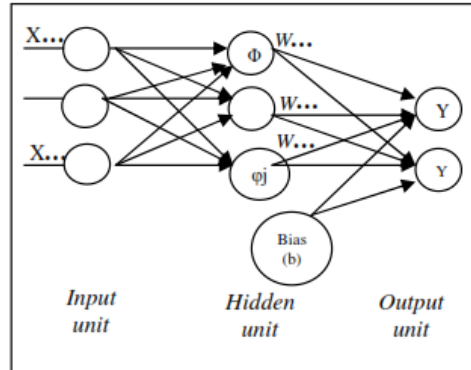
$$\Delta^{LF} = \left(\log_2 \left(11^T + (\sqrt{D})^\alpha\right)\right)^2; 0 < \alpha \leq 1 \quad (23)$$

2. 8. Radial Basis Function Network

Artificial Neural Network (ANN) atau jaringan saraf tiruan adalah sistem pemroses informasi yang memiliki karakteristik menyerupai jaringan saraf pada manusia. Layaknya sistem saraf manusia, jaringan ini berfungsi untuk mengenali suatu pola atau memetakan suatu masukan menjadi keluaran yang dilatih melalui suatu proses pelatihan (Apriyanto, Sujono and Hermanto, 2016).

Radial Basis Function Network (RBFN) adalah salah satu metode jaringan syaraf tiruan (JST) atau *neural network* yang diperkenalkan oleh David Broomhead dan David Bowe pada tahun 1988.

Metode RBFN terdiri dari tiga *layer* yaitu lapisan masukan (*input layer*), lapisan tersembunyi (*hidden layer*) dan lapisan keluaran (*output layer*).



Gambar 2.1. Topologi Radial Basis Function Network
Sumber : (Haryono, 2005)

RBFN memiliki beberapa karakteristik, yaitu :

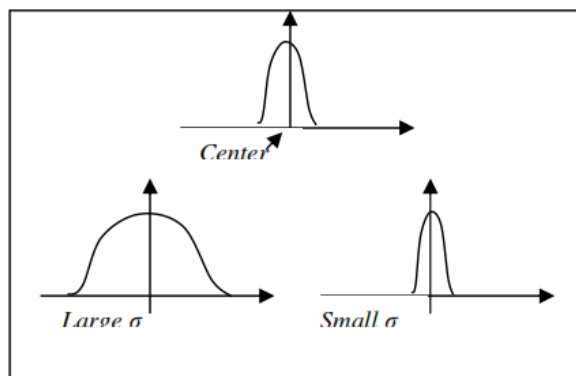
- Pemrosesan sinyal dari *input layer* ke *hidden layer*, sifatnya *nonlinier*, sedangkan dari *hidden layer* ke *output layer* sifatnya *linear*.
- Pada *hidden layer* digunakan sebuah fungsi aktivasi yang berbasis radial, misalnya fungsi *Gaussian*. Rumus fungsi Gaussian yang digunakan sebagai berikut :

$$\phi(r) = \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad \sigma > 0 \quad (24)$$

dimana $\sigma \rightarrow$ nilai *Spread*

$$\sigma = \frac{\text{Jarak Maksimum Antara 2 Pusat}}{\sqrt{\text{Banyaknya Pusat}}} = \frac{d_{max}}{\sqrt{m_1}} \quad (25)$$

Nilai *spread* menentukan bagaimana data tersebar. Jika nilai *spread* makin besar sensitivitas antar data semakin berkurang.



Gambar 2.2. Hubungan Nilai Spread Dengan Pusatnya
Sumber : (Haryono, 2005)

Pusat atau *center* yang dimaksud adalah *centroid* dari data. Jumlah pusat menentukan jumlah hidden unit yang dipakai.

- c. Pada *output unit*, sinyal dijumlahkan seperti biasa.
- d. Sifat jaringannya adalah *feed-forward*.

Selain menggunakan fungsi Gaussian, fungsi aktivasi lain yang biasa diterapkan sebagai berikut :

- a. Multi-Quadratic Function

$$\varphi(r) = (r^2 + \sigma^2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{parameter } \sigma > 0 \quad (26)$$

- b. Generalized Multi-Quadratic Function

$$\varphi(r) = (r^2 + \sigma^2)^\beta \quad \text{parameter } \sigma > 0, \quad 1 > \beta > 0 \quad (27)$$

- c. Inverse Multi-Quadratic Function

$$\varphi(r) = (r^2 + \sigma^2)^{-\frac{1}{2}} \quad \text{parameter } \sigma > 0 \quad (28)$$

- d. Generalized Inverse Multi-Quadratic Function

$$\varphi(r) = (r^2 + \sigma^2)^{-\alpha} \quad \text{parameter } \sigma > 0, \quad 1 > \alpha > 0 \quad (29)$$

- e. Thin Plate Spline Function

$$\varphi(r) = r^2 \ln(r) \quad (30)$$

- f. Cubic Function

$$\varphi(r) = r^3 \quad (31)$$

- g. Linear Function

$$\varphi(r) = r \quad (32)$$

Efektifitas suatu jaringan saraf tiruan ditentukan dari hasil pelatihannya yang berupa bobot neuronnya. RBFN memiliki algoritma pelatihan yang unik karena terdiri atas cara unsupervised dan supervised sekaligus (Haryono, 2005). Pelatihan RBFN terdiri atas dua tahap yaitu :

- a. *Clustering* data

Pada tahap ini, data di-*cluster* atau dikelompokkan berdasarkan kedekatan tertentu, misalnya: kedekatan warna antara 2 pixel, kedekatan jarak antar 2 titik, dan lain-lain. Penentuan *cluster* dengan sendirinya akan menghasilkan center atau pusat dari kelompok data. Jumlah *cluster* menentukan hidden unit yang dipakai.

Dalam menentukan center, ada dua cara yang bisa dipakai. Cara yang mudah adalah menentukan center secara acak dari kelompok data. Cara lainnya yang lebih sulit, tetapi lebih baik adalah dengan menggunakan algoritma *clustering*.

Dengan algoritma *clustering*, jaringan saraf tiruan mampu mencari *center-center* yang terbaik bagi data. Dengan melihat tahap pertama dari pelatihan RBFN, dapat disimpulkan bahwa pada tahap ini pelatihan bersifat *unsupervised*.

b. Pembaharuan bobot

Jaringan saraf tiruan menyimpan pengetahuannya dalam bobot neuron-neuronnya. Pelatihan tahap berikutnya berfungsi untuk mendapatkan nilai bobot neuron-neuronnya.

Pada tahap ini, ada serangkaian perhitungan yang diperlukan untuk memperbaharui bobot dan pada tahap ini juga dibutuhkan data latih beserta targetnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tahap ini bersifat *supervised*.

Adapun langkah-langkah pada tahap ini sebagai berikut:

1. Meneruskan sinyal *input* ke *hidden layer* dan menghitung nilai fungsi aktivasinya pada tiap *hidden layer* menggunakan rumus :

$$\varphi(\|X_m - t_i\|) = \exp\left(\frac{-1}{\sigma^2} \cdot \|X_m - t_j\|^2\right) \quad (33)$$

dimana :

$m = 1,2,3,\dots$ sesuai dengan jumlah *training pattern*

$j = 1,2,3,\dots$ sesuai dengan jumlah *hidden unit*

$X \rightarrow$ vector *input*

$t \rightarrow$ vector data yang dianggap *center*

2. Menyusun matriks *Gaussian*, dari hasil perhitungan pada langkah 1.

$G = [\varphi \mid \mathbf{B}]$, dimana

$$\varphi = \begin{bmatrix} \varphi_{11} & \varphi_{12} & \varphi_{13} & \varphi_{14} & \cdots & \varphi_{1C} \\ \varphi_{21} & \varphi_{22} & \varphi_{23} & \varphi_{24} & \cdots & \varphi_{2C} \\ \varphi_{31} & \varphi_{32} & \varphi_{33} & \varphi_{34} & \cdots & \varphi_{3C} \\ \varphi_{41} & \varphi_{42} & \varphi_{43} & \varphi_{44} & \cdots & \varphi_{4C} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \varphi_{N1} & \varphi_{N2} & \varphi_{N3} & \varphi_{N4} & \cdots & \varphi_{NC} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}_{N \times 1} \quad (34)$$

dimana :

N : Total *instance*,

C : *Hidden unit*,

B : Bias vector,

φ : Matriks fungsi aktivasi.

3. Menghitung bobot baru (W) dengan mengalikan pseudoinverse dari matriks G , dengan vektor target (d) dari data latih dengan rumus :

$$W = G^+ d = (G^T G)^{-1} G^T d \quad (35)$$

4. Menghitung nilai output dari jaringan menggunakan rumus :

$$y(x) = \sum_{t=1}^2 wG(\|x - tt\|) + b \rightarrow \text{nilai bobot bias} \quad (36)$$

dimana $G(x) = \varphi(x)$

5. Menguji nilai bobot yang didapat pada akhir pembelajaran. Output merupakan hasil perkalian antara bobot dan nilai matriks yang didapat menggunakan rumus :

$$Y = W1 * j1 + W2 * j2 + bias \quad (37)$$

2. 9. Validasi Silang

Validasi silang atau *cross-validation* (CV) adalah metode statistik yang dapat digunakan untuk mengevaluasi performa model atau algoritma dimana data dipisahkan menjadi dua subset yaitu data proses pembelajaran dan data validasi / evaluasi. Model atau algoritma dilatih oleh subset pembelajaran dan divalidasi oleh subset validasi.

Salah satu metode cross validation yang sering digunakan adalah *k-Fold Cross Validation*. Data dibagi menjadi sebuah himpunan secara acak menjadi k subset yang saling bebas dan dilakukan pengujian dengan mengulang k -kali, setiap ulangan disisakan satu subset untuk pengujian dan subset lainnya untuk pelatihan (Banjarsari, Budiman and Farmadi, 2015).

Tabel 2.3. Ilustrasi *K-Fold Cross Validation*

5-Fold	Kelompok Data A	Kelompok Data B	Kelompok Data C	Kelompok Data D	Kelompok Data E
Percobaan 1	A (Data Testing)	BCDE (Data Training)			
Percobaan 2	A (Data Training)	B (Data Testing)	CDE (Data Training)		
Percobaan 3	AB (Data Training)		C (Data Testing)	DE (Data Training)	
Percobaan 4	ABC (Data Training)			D (Data Testing)	E (Data Training)
Percobaan 5	ABCD (Data Training)				E (Data Testing)

(Banjarsari, Budiman and Farmadi, 2015)

Jumlah *fold* direkomendasikan adalah 10 *fold* untuk pemilihan model terbaik karena cenderung memberikan estimasi akurasi yang kurang bias. Dalam 10 *fold cross validation*, data dibagi menjadi 10 *fold* berukuran kira-kira sama sehingga menjadi 10 subset data untuk mengevaluasi performa model atau algoritma. Untuk masing-masing dari 10 subset data tersebut, *cross validation* akan menggunakan 9 *fold* untuk pelatihan dan 1 *fold* untuk pengujian.

2. 10. Pengukuran Performa

Pengukuran performa digunakan mengukur efektifitas dari metode yang digunakan untuk menyelesaikan suatu permasalahan. Metode yang sering digunakan untuk pengukuran performa metode regresi adalah *mean absolute error* (MAE), *mean square error* (MSE) dan *root mean square error* (RMSE).

Mean Absolute Error (MAE) adalah rata-rata perbedaan antara nilai asli dan nilai perkiraan. Hal ini memberi ukuran seberapa jauh perkiraan dari output aktual menggunakan rumus :

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |y_j - \hat{y}_j| \quad (38)$$

Mean Square Error (MSE) mengambil rata-rata kuadrat dari perbedaan antara nilai asli dan nilai perkiraan. Keuntungan dari MSE adalah bahwa lebih mudah untuk menghitung gradien, sedangkan MAE membutuhkan alat pemrograman linier yang rumit untuk menghitung gradien.

Dengan mengkuadratkan nilai kesalahan (*error*), efek kesalahan yang lebih besar menjadi lebih jelas daripada kesalahan yang lebih kecil, sehingga model yang digunakan dapat lebih fokus pada kesalahan yang lebih besar menggunakan rumus :

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (y_j - \hat{y}_j)^2 \quad (39)$$

Root Mean Square Error (RMSE) adalah nilai rata-rata kuadrat dari perbedaan nilai estimasi dengan nilai observasi suatu data karena perbedaan antara nilai yang diperkirakan dan yang sebenarnya bisa positif atau negative. Sehingga untuk mengimbangi perbedaan itu, bisa dilakukan dengan mengambil

kuadrat dari perbedaan antara nilai yang diperkirakan dan nilai yang sebenarnya menggunakan rumus :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (40)$$

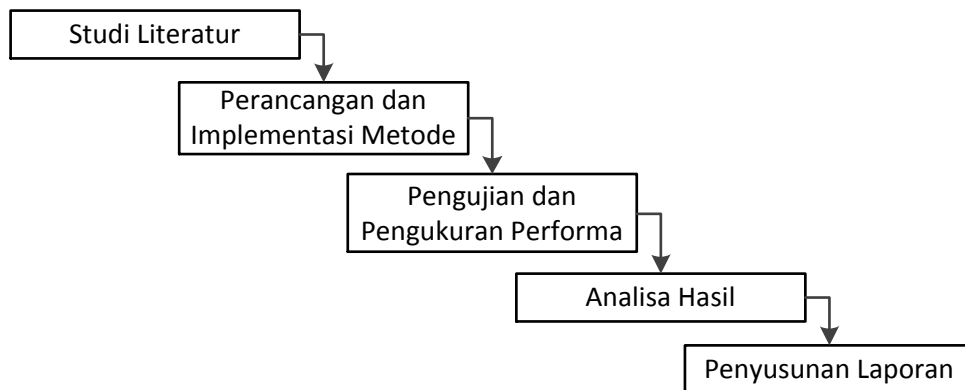
Mean Absolute Percentage Error (MAPE) adalah nilai persentase rata-rata error dari perbedaan nilai estimasi dengan nilai observasi suatu data. Dengan pengukuran ini dapat diketahui berapa persentase kesalahan estimasi dan dari pengukuran ini juga akan diketahui berapa persentase akurasi dari nilai estimasi yang dilakukan, pengukuran persentase error menggunakan rumus :

$$MAPE = \frac{\sum (y_j - \hat{y}_j) / y_j}{n} \times 100 \quad (41)$$

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan alur metodologi yang digunakan pada penelitian ini meliputi parameter *input*, rancangan metode, skenario pengujian, evaluasi, dan pengukuran performa yang akan dilakukan.

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini antara lain terdiri dari studi literatur, perancangan dan implementasi metode, pengujian dan pengukuran performa dan analisa hasil. Gambar 3.1. merupakan ilustrasi alur metodologi penelitian yang dilakukan.



Gambar 3.1. Diagram Alur Metodologi Penelitian

Pada Sub-bab berikut ini akan dibahas tahapan metodologi penelitian secara lebih rinci.

3.1. Studi Literatur

Tahap pertama yang dilakukan pada penelitian ini adalah tahap pengkajian literatur yang sesuai dengan topik penelitian. Pengkajian literatur yang digunakan berdasarkan referensi berasal dari jurnal maupun publikasi seminar yang terkait dengan kualitas air, *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*, metode *Improvement Relational Fuzzy C-Means (IRFCM) clustering*, metode *Radial Basis Function Network (RBFN)* serta metode untuk mengukur performa dari metode yang digunakan.

Dari studi literatur yang telah dilakukan, diperoleh informasi yang berhubungan dengan penelitian, diantaranya sebagai berikut :

1. Salah satu parameter penting untuk mengukur tingkat pencemaran air adalah BOD yang menunjukkan banyaknya oksigen yang diperlukan oleh organisme pada saat pemecahan bahan organik sebagai bahan makanan. Semakin tinggi nilai BOD menunjukkan semakin rendah kadar oksigen didalam air dan menandakan tingkat pencemaran air.
2. Pengukuran nilai BOD secara konvensional memerlukan waktu selama 5 hari sehingga diperlukan perkiraan nilai BOD secara cepat sebagai bahan untuk pengambilan keputusan oleh *stakeholder*.
3. Perkiraan nilai BOD pada penelitian-penelitian terdahulu menggunakan parameter-parameter *input* yang berbeda-beda. Sehingga disimpulkan bahwa tidak ada parameter standar yang sama persis antar satu penelitian dengan penelitian ketika digunakan sebagai bahan *input* untuk perkiraan nilai BOD.
4. Penelitian-penelitian terdahulu yang menggunakan metode *Radial Basis Function Network* (RBFN) untuk perkiraan menunjukkan hasil yang bagus sehingga dalam penelitian ini menggunakan metode RBFN dalam memperkirakan nilai BOD. Tantangan dalam RBFN adalah menentukan *centroid* terbaik yang digunakan dalam perhitungan fungsi aktivasi Gaussian. Dimana untuk menentukan *centroid* dapat menggunakan metode *clustering*.

3. 2. Perancangan dan Implementasi Metode

Pada tahap perancangan sistem, akan dijelaskan mengenai langkah-langkah yang dimulai dari parameter *input*, serta penggambaran alur proses yang terjadi dalam metode untuk menghasilkan perkiraan nilai BOD. Sedangkan pada tahap implementasi metode bertujuan untuk mengimplementasikan rancangan sistem yang diusulkan.

Rancangan metode dalam penelitian ini terdapat tiga bagian utama yaitu *preprocessing*, *clustering*, dan yang terakhir yaitu *prediction* untuk memperkirakan nilai BOD. Gambar 3.2 merupakan ilustrasi alur metode penelitian.



Gambar 3.2. Alur Metode Penelitian

Berikut merupakan penjelasan tiap bagian dalam *flowchart* yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.

1. *Preprocessing*

Dataset yang digunakan sebanyak 256 data yang terdiri dari 11 parameter hasil pengukuran air baku yang menjadi parameter *input* dan 1 parameter BOD yang menjadi parameter target.

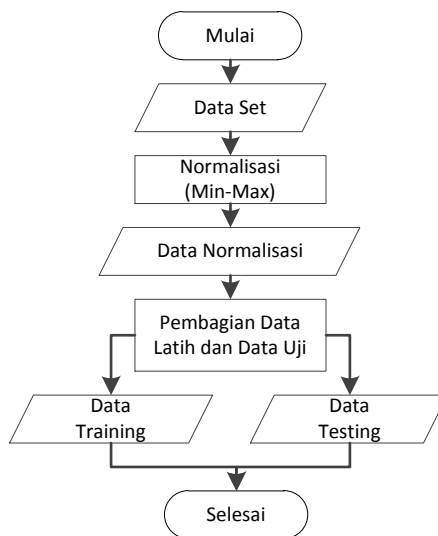
Setiap parameter memiliki besaran atau rentang nilai yang berbeda-beda sesuai dengan hasil pengukuran di lapangan. Perbedaan rentang nilai pada setiap parameter menyebabkan tidak berfungsinya parameter yang memiliki nilai jauh lebih kecil dibandingkan dengan parameter-parameter lainnya. Sehingga perlu dilakukan proses normalisasi data agar tidak terjadi dominasi antar data satu parameter dengan parameter lainnya.

Metode normalisasi yang digunakan adalah metode normalisasi Min-Max yang sudah dijelaskan pada sub-bab 2.5. Metode min-max digunakan karena metode ini melakukan transformasi linier terhadap data sehingga menghasilkan keseimbangan nilai perbandingan antar data pada saat sebelum dan sesudah proses.

Setelah proses normalisasi data, kemudian dilakukan proses pembagian data menjadi data latih dan data uji menggunakan metode validasi silang atau *k-fold cross validation* yang sudah dijelaskan pada sub-bab 2.9.

Pembagian data ini bertujuan untuk mengevaluasi performa model atau algoritma dimana data dipisahkan menjadi sebuah himpunan secara acak menjadi k subset yang saling bebas. Dalam hal ini himpunan data dibagi menjadi dua subset yaitu subset data proses pembelajaran/data latih dan subset data validasi/evaluasi atau sering disebut data uji.

Model atau algoritma dilatih oleh subset pembelajaran dan divalidasi oleh subset validasi dan dilakukan pengujian dengan mengulang sejumlah k -kali, setiap ulangan disisakan satu subset untuk pengujian dan subset lainnya untuk pelatihan. Gambar 3.3 merupakan alur dari tahap *preprocessing* terhadap dataset yang digunakan.



Gambar 3.3. Alur Tahap *Preprocessing*

2. *Clustering*

Pada data latih hasil *preprocessing* selanjutnya dilakukan *clustering* data untuk menentukan *centroid* atau pusat *cluster*. Penentuan *centroid* merupakan salah satu tantangan dalam metode RBFN sehingga pemilihan metode *clustering* yang tepat untuk menentukan *centroid* sangat mempengaruhi hasil perkiraan RBFN. *Centroid* digunakan sebagai titik awal dalam menentukan jarak antara data dengan *centroid* yang digunakan dalam fungsi aktivasi *Gaussian*. Disamping itu, jumlah *cluster* juga berperan dalam menentukan jumlah *hidden layer* yang digunakan dalam metode RBFN.

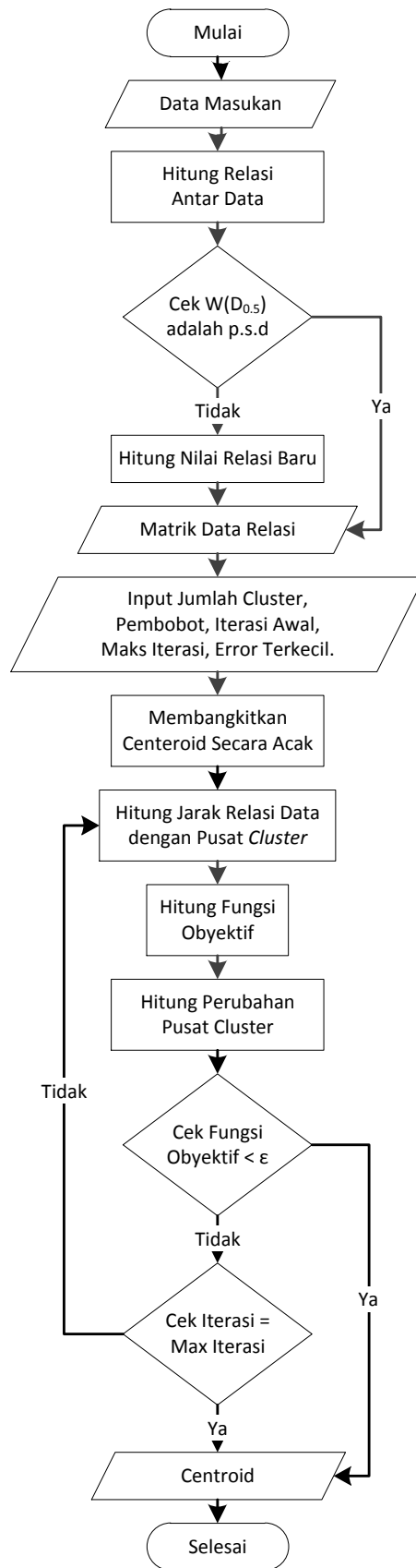
Salah satu metode *clustering* yang paling umum digunakan adalah FCM yang dijelaskan pada sub bab 2.6. karena memiliki beberapa kelebihan, diantaranya adalah algoritma yang sederhana, metode penentuan *centroid* dan derajat keanggotaan tiap data pada *centroid* sangat efektif dan efisien, serta teori-teori yang digunakan dalam algoritma FCM sangat mudah dipahami. Namun, disamping beberapa kelebihan tersebut. Metode FCM juga memiliki kekurangan diantaranya adalah sensitif terhadap inisialialisasi awal, tidak dapat handle data *outlier*, dan nilai yang sangat besar atau sangat kecil dapat mempengaruhi hasil *clustering*.

Berangkat dari kekurangan-kekurangan yang terdapat dalam FCM kemudian diperkenalkan metode RFCM. RFCM merupakan pengembangan dari metode FCM. RFCM berusaha tetap mewarisi semua kelebihan FCM

sekaligus mampu mengatasi semua kekurangan yang didapatkan pada FCM. Berbeda dengan FCM yang menggunakan obyek data sebagai data *input*, RFCM menggunakan data relasi antar data sebagai *input*. Penggunaan data relasi antar data memiliki beberapa kelebihan diantaranya tidak terpengaruh kondisi obyek data yang mungkin berisi data *outlier* atau nilai ekstrim, kondisi yang merupakan salah satu penyebab kekurangan FCM.

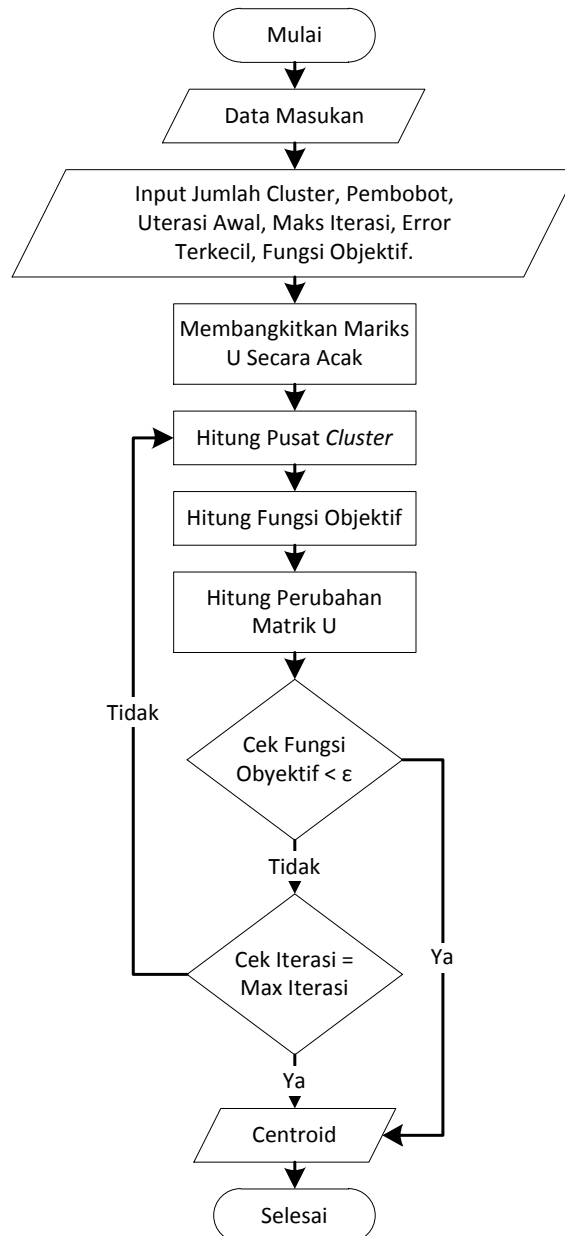
Pada metode RFCM harus dilakukan proses pengukuran jarak antar data menggunakan rumus jarak *Euclidean* untuk mendapatkan matriks jarak *Euclidean* yang menjadi data *input* yang digunakan pada proses *clustering*. Hasil perhitungan matriks jarak *Euclidean* sebagai data *input* semuanya harus bernilai lebih dari 0 atau berjarak *Euclidean*. Masalah kemudian muncul ketika terdapat jarak yang bernilai kurang dari 0 atau *non-euclidean* pada data *input* karena metode RFCM tidak dapat melakukan proses *clustering*. Untuk mengatasi masalah tersebut, dikembangkan metode IRFCM yang melakukan perhitungan ulang relasi antar data pada matriks jarak *Euclidean* atau disebut *Euclideanized* sehingga matriks jarak *Euclidean* yang terbentuk bernilai lebih dari 0 sehingga dapat menjadi data *input* untuk proses *clustering*. Tahapan-tahapan penentuan *centroid* dalam RFCM sama dengan tahapan FCM yaitu pembaharuan *centroid*, pembaharuan derajat keanggotaan, dan penghitungan fungsi objektif yang menentukan berakhirnya proses *clustering*.

Metode *clustering* yang digunakan dalam penelitian ini adalah IRFCM yang sudah dijelaskan pada sub-bab 2.7. Metode IRFCM ini digunakan karena metode IRFCM mewarisi semua kelebihan metode FCM dan RFCM sekaligus mengatasi kekurangan-kekurangan metode FCM dan RFCM. disamping itu, penggunaan metode IRFCM dapat memberikan *centroid* paling tepat yang dapat meningkatkan performa perkiraan RBFN. Gambar 3.4 merupakan alur dari IRFCM *clustering*.



Gambar 3.4. *Improvement Relational Fuzzy C-Means Clustering*

Disamping menggunakan metode IRFCM, dalam penelitian ini juga menggunakan metode FCM sebagai metode *clustering* pembandingan. Kedua metode *clustering* tersebut dibandingkan untuk mengetahui metode *clustering* yang dapat memberikan *centroid* yang tepat. Penentuan *centroid* yang tepat dapat meningkatkan akurasi perkiraan RBFN. Gambar 3.5 merupakan alur dari FCM *clustering*.

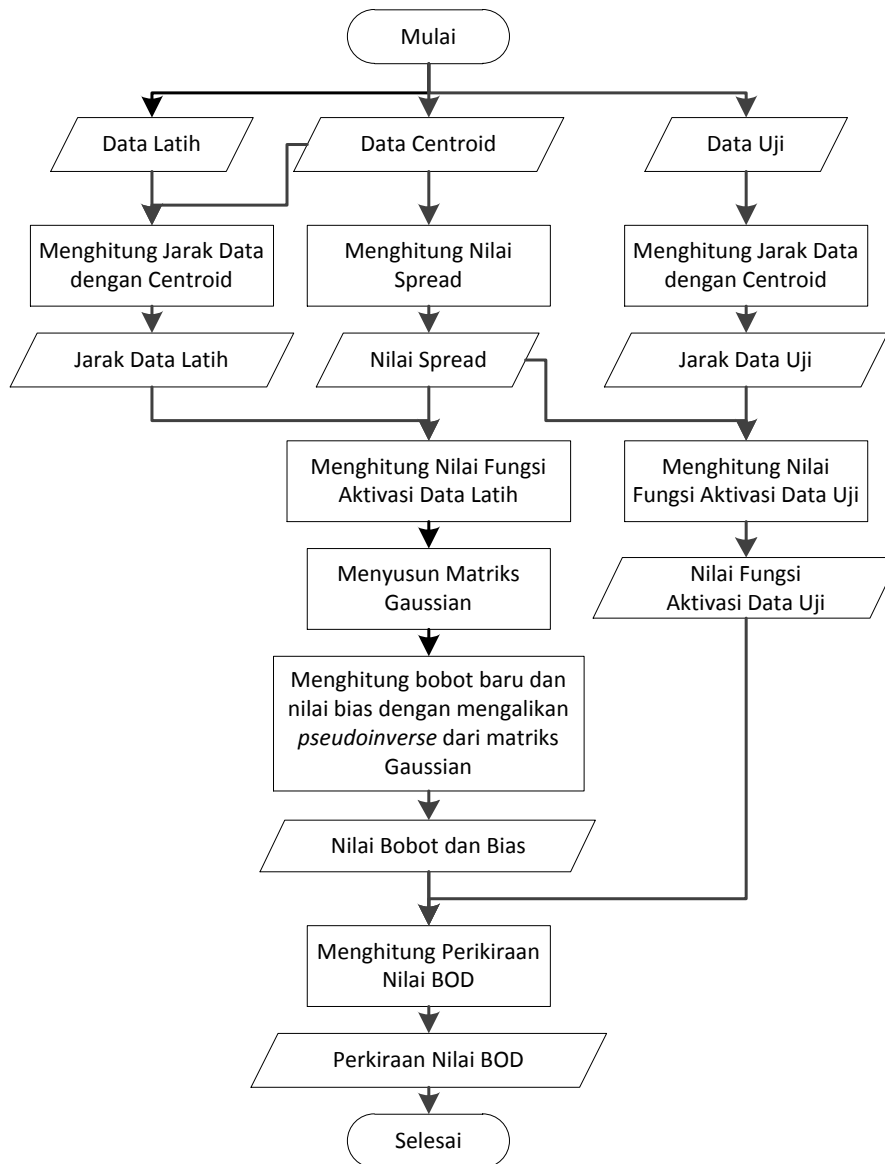


Gambar 3.5. *Fuzzy C-Means Clustering*

3. Prediction

Setelah mendapatkan nilai *centroid* menggunakan metode IRFCM dan FCM *clustering*. Selanjutnya melakukan perkiraan nilai BOD menggunakan data uji.

Metode perkiraan nilai BOD yang digunakan adalah metode RBFN yang sudah dijelaskan pada sub-bab 2.8. Gambar 3.6 merupakan alur dari tahap *prediction* menggunakan metode RBFN.



Gambar 3.6. Alur Tahap *Prediction* RBFN

3.3. Pengujian dan Pengukuran Performa

Pada tahap ini dilakukan pengujian dan pengukuran performa terhadap metode yang diusulkan untuk memperkirakan nilai BOD.

1. Dataset

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari rekaman pengukuran kualitas air baku sebuah perusahaan dari bulan Januari 2014 sampai bulan Februari 2019 sebanyak 256 rekaman data. Pengukuran parameter BOD dilakukan seminggu sekali. Namun ada beberapa kali data pengukuran BOD tidak dilakukan setiap minggu. Tabel 3.1 menunjukkan distribusi jumlah pengukuran parameter BOD setiap bulan.

Tabel 3.1. Distribusi Rekaman Data

No	Bulan	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	Januari	5	4	4	5	5	4
2	Februari	4	4	4	4	4	4
3	Maret	4	4	2	4	4	-
4	April	5	5	2	4	5	-
5	Mei	4	4	5	5	4	-
6	Juni	4	4	4	3	2	-
7	Juli	4	4	3	5	5	-
8	Agustus	4	3	5	4	4	-
9	September	4	5	4	4	4	-
10	Oktober	5	4	5	5	4	-
11	Nopember	4	4	4	4	4	-
12	Desember	5	4	4	4	5	-
Jumlah		52	49	46	51	50	8
		256					

Parameter *input* berasal dari pengukuran kualitas air baku harian terdiri dari 11 parameter yang pengukurannya dilakukan setiap hari. Walaupun pengukuran kualitas air baku dilakukan setiap hari, Data pengukuran air baku yang digunakan sebagai data *input* dalam penelitian ini hanya diambil sebanyak 256 data yang disesuaikan dengan waktu pengukuran parameter BOD. Sehingga didapatkan dataset yang setiap baris data terdiri dari hasil pengukuran parameter *input* dan parameter BOD pada hari yang sama. Tabel 3.2. menunjukkan sampel parameter-parameter kualitas air.

Tabel 3.2. Sampel Parameter Kualitas Air

Suhu	Turbidity	Warna	pH	Alkalinitas	CO ₂ bebas	DO	Nitrit	Amonia	Pospat	Sulfida
25.40	66.40	242.76	7.90	196.80	4.37	4.64	0.09	0.56	0.15	0.16
25.30	474.00	553.38	7.80	144.32	2.62	4.36	0.12	0.89	0.23	0.90
25.20	88.60	143.00	7.85	223.04	4.59	3.57	0.38	0.53	0.19	0.23
25.40	45.50	160.03	7.90	216.48	4.81	4.09	0.11	0.23	0.29	0.19
25.20	121.00	127.59	7.80	190.24	4.97	4.04	0.13	1.13	0.23	0.39
26.20	194.00	211.13	7.80	196.80	5.62	4.27	0.13	0.33	0.09	0.27
26.00	144.00	295.47	7.85	209.92	5.25	4.04	0.10	0.40	0.17	0.45
25.60	233.00	489.31	7.78	183.60	5.45	3.03	0.11	0.27	0.05	0.18
25.30	63.30	52.17	7.85	242.72	6.07	4.02	0.07	0.17	0.08	0.11

Parameter – parameter pengukuran kualitas air menjadi parameter *input* dan nilai parameter BOD menjadi target atau label. Nilai BOD yang terekam bernilai antara 5.00 sampai 20.00.

2. Analisis Korelasi

1. Korelasi Antar Parameter

Parameter-parameter pengukuran kualitas air harian yang menjadi parameter *input* mempunyai hubungan dengan parameter BOD yang menjadi parameter target.

a. Suhu

Suhu air pada tiap badan air berbeda-beda tergantung pada ketinggian dan kondisi geografis. Apabila suhu suatu badan air berubah secara drastis baik naik atau turun dari suhu sebelumnya, maka badan air tersebut telah tercemar yang membuat kebutuhan oksigen semakin besar agar organisme dapat menguraikan bahan organik yang terkandung pada air.

b. Turbidity

Kekeruhan atau *turbidity* merupakan padatan yang tersuspensi dalam air yang memiliki berat dan ukuran yang sangat kecil sehingga melayang-layang dalam air tetapi tidak terlarut dan tidak dapat langsung mengendap. Sumber penyebab kekeruhan air terutama dari limbah cair industri. Semakin tinggi tingkat kekeruhan air berarti semakin tinggi pula tingkat pencemaran suatu badan air. Hal itu

membuat kebutuhan oksigen semakin besar agar organisme dapat menguraikan bahan organik yang terkandung pada air.

c. Warna

Air yang memenuhi syarat kesehatan secara umum adalah tidak berasa, tidak berbau, dan tidak berwarna (jernih). Ketiga syarat tersebut tidak hanya sekedar syarat estetika, tetapi juga merupakan indikasi apakah air tersebut tercemar atau tidak.

Perubahan warna air bisa diakibatkan karena partikel terlarut seperti lumpur, fitoplankton dan mikroorganisme yang bersifat mikroskopis. Sumber pencemaran warna terutama berasal dari limbah cair berwarna. Kondisi air yang berwarna menandakan adanya pencemaran berarti semakin tinggi pula tingkat pencemaran suatu badan air. kebutuhan oksigen juga menjadi semakin besar agar organisme dapat menguraikan bahan organik yang terkandung pada air.

d. *pH*

Derajat keasaman *pH* suatu badan air merupakan indikasi keseimbangan antara asam dan basa. Keduanya merupakan ion pembentuk air. Air murni memiliki asam dan basa dalam jumlah yang seimbang pada *pH* 7. Air bersifat asam apabila *pH*-nya kurang dari 7, dan apabila *pH*-nya lebih dari 7 air akan bersifat basa. Apabila *pH* air kurang dari 5 dan lebih dari 9, maka badan air tersebut dikatakan telah tercemar. Kondisi air yang semakin asam menunjukkan air tersebut telah tercemar. Sehingga dibutuhkan oksigen semakin besar agar organisme dapat menguraikan bahan organik yang terkandung pada air.

e. Alkalinitas

Alkalinitas merupakan kapasitas air untuk menetralkan tambahan asam tanpa penurunan *pH* air. Seperti halnya penyangga, alkalinitas merupakan pertahanan air terhadap pengasaman. Keberadaan alkalinitas sangat penting dalam menjaga kadar keasaman air (*pH*) dalam kisaran 6-9. Alkalinitas biasanya berasal dari batuan karbon (batu kapur). Semakin tinggi kadar alkalinitas, menyebabkan semakin tingginya

kebutuhan oksigen karena metabolisme organisme untuk mengurai bahan organik dapat berlangsung maksimal pada kondisi kadar keasaman yang stabil.

f. CO_2 bebas

CO_2 bebas dalam air berasal dari difusi dari atmosfer secara langsung, air tanah yang melewati tanah organik, air hujan yang jatuh ke permukaan bumi, hasil penguraian bahan organik di dasar perairan, dari hasil proses pernafasan (respirasi) hewan dan tumbuhan air, dan hasil proses pemecahan/ penguraian senyawa-senyawa kimia.

Semakin tinggi CO_2 bebas yang terdapat dalam air menunjukkan tingginya hasil penguraian bahan organik di dasar perairan dan hasil proses pemecahan/ penguraian senyawa-senyawa kimia yang dilakukan oleh organisme. Hal ini menyebabkan kebutuhan oksigen yang tinggi untuk membantu organisme mengurai bahan organik.

g. *Dissolved Oxygen*

Oksigen terlarut atau *dissolved oxygen* (DO) adalah banyaknya oksigen yang terlarut dalam satu liter air. Oksigen merupakan gas yang sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup untuk proses metabolisme. Tanpa oksigen, makhluk hidup tidak akan mampu memecah makanan menjadi energi dan beraktifitas. Oleh karena itu, kehidupan tumbuhan dan mikroorganisme perairan tergantung pada kemampuan badan air dalam mempertahankan jumlah oksigen terlarut dalam air.

Semakin rendah jumlah oksigen terlarut dalam air menunjukkan semakin tinggi tingkat pencemaran suatu perairan. Banyaknya zat pencemar yang masuk ke suatu perairan mengakibatkan oksigen sulit larut dalam air. Hal ini menyebabkan kebutuhan oksigen semakin meningkat untuk membantu organisme mengurai bahan organik.

h. Nitrit

Nitrit di perairan dihasilkan secara alami maupun dari aktifitas mikroorganisme air dan aktifitas manusia. Nitrit berasal alam yaitu dari siklus nitrogen. Nitrit juga berasal dari metabolisme organisme perairan dan dekomposisi bahan-bahan organik oleh bakteri. Selain itu, sumber

nitrit juga dapat berasal dari aktifitas manusia yang menggunakan pupuk nitrogen, limbah industri, dan limbah organik manusia. Tingginya kadar nitrit dalam air menandakan tingginya tingkat pencemaran air. Sehingga dibutuhkan oksigen semakin besar agar organisme dapat menguraikan bahan organik yang terkandung pada air.

i. Amonia

Kandungan amonia pada air umumnya berasal dari hasil ekskresi organisme yang terdapat pada air. Namun, kadar amonia yang tinggi pada air dapat menunjukkan indikasi adanya pencemaran yang berasal dari limbah domestik, industri, dan limpasan pupuk pertanian. Sehingga dibutuhkan oksigen semakin besar agar organisme dapat menguraikan bahan organik yang terkandung pada air.

Kandungan amonia dengan konsentrasi beberapa mg/l pada sistem perairan dapat merupakan racun bagi kehidupan air, terutama bagi kehidupan ikan karena semakin tinggi kandungan amonia dapat mengurangi kandungan oksigen dalam air.

j. Pospat

Pospat dalam air berasal dari buangan penduduk dan industri yang menggunakan bahan detergen yang mengandung pospat, seperti industri logam dan sebagainya. Selain itu, Pospat organik berasal dari buangan penduduk (tinja) dan sisa makanan.

Semakin rendah kadar pospat pada air, membuat kebutuhan oksigen semakin besar agar organisme dapat menguraikan bahan organik yang terkandung pada air. Sebaliknya semakin tinggi kadar pospat dalam air membuat pertumbuhan alga menjadi cepat dan membuat konsentrasi oksigen terlarut dalam air menjadi menurun.

k. Sulfida

Hidrogen sulfida (H_2S), berasal dari aktivitas biologis ketika bakteri mengurai bahan organik dalam keadaan tanpa oksigen (aktivitas anaerobik) yang terjadi di dasar perairan. Hidrogen sulfida berbentuk gas yang tidak berwarna, beracun, mudah terbakar dan berbau seperti telur busuk. Hidrogen sulfida dipengaruhi oleh pH , suhu, dan DO.

Toksisitas tertinggi hidrogen sulfida berada pada $pH < 6.5$. Toksisitas hidrogen sulfida meningkat seiring meningkatnya suhu air. Kondisi toksisitas hidrogen sulfida akan menurun ketika berada pada kondisi air dengan *dissolved oxygen* yang tinggi. Karena oksigen dapat merubah hidrogen sulfida menjadi bentuk terionisasi yang bersifat non-toksik. Semakin tinggi kadar sulfida menunjukkan semakin tinggi pencemaran air. Sehingga kebutuhan oksigen semakin besar agar organisme dapat menguraikan bahan organik yang terkandung pada air.

2. Korelasi Pearson

Analisis korelasi dilakukan untuk mengetahui keeratan hubungan antar parameter yang dinyatakan dengan nilai koefisien korelasi. Hubungan antara parameter tersebut dapat bersifat positif dan negatif.

Derajat hubungan biasanya dinyatakan dengan huruf "*r*" atau disebut juga dengan koefisien korelasi sampel. Hal ini merupakan penduga bagi koefisien populasi.

Kekuatan korelasi atau hubungan antara dua parameter yang dihubungkan biasanya menggunakan formula koefisien korelasi momen produk (*product moment karl pearson*) dengan rumus sebagai berikut :

$$r_{xy} = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2} \sqrt{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2}} \quad (42)$$

Koefisien korelasi atau *Pearson Correlations* memiliki rentang nilai paling kecil -1 dan paling besar 1. Jika korelasi pearson semakin mendekati -1 atau 1 berarti korelasi antar dua parameter yang diuji semakin kuat. Namun, apabila nilai semakin mendekati 0 maka korelasi antar dua parameter yang diuji semakin lemah atau tidak terdapat korelasi.

Selain besarnya korelasi, tanda korelasi juga berpengaruh pada penafsiran hasil dalam analisis korelasi pearson. Dimana apabila korelasi menghasilkan tanda negatif (-) menunjukkan adanya arah yang berlawanan antar dua parameter yang diuji, sedangkan tanda positif (+) menunjukkan arah yang sama atau korelasi searah.

Berdasarkan hasil pengukuran korelasi pearson terlihat bahwa parameter warna, *turbidity*, alkalinitas, sulfide dan CO_2 bebas

menunjukkan korelasi positif terhadap parameter BOD dengan rentang korelasi antara 0,1 hingga 0,2. Sedangkan parameter nitrit, DO dan ammonia memiliki korelasi positif dengan parameter BOD dengan rentang nilai 0,02 hingga 0,08. Dan parameter *pH*, pospat, dan suhu mempunyai korelasi negatif dengan parameter BOD dengan rentang nilai antara -0,04 hingga -0,09. Tabel 3.3 menunjukkan analisis korelasi antara parameter-parameter hasil pengukuran kualitas air yang menjadi parameter input dengan parameter BOD yang menjadi parameter target :

Tabel 3.3. Korelasi Pearson

No	Parameter	Pearson
1	Warna	0.214612
2	<i>Turbidity</i>	0.200612
3	Alkalinitas	0.162168
4	Sulfida	0.159474
5	<i>CO₂ bebas</i>	0.139971
6	Nitrit	0.087263
7	DO	0.034323
8	Amonia	0.027573
9	pH	-0.045254
10	Pospat	-0.068021
11	Suhu	-0.099211

3. Nilai *p-value*

P-value adalah nilai peluang terkecil dari suatu pengujian hipotesis sehingga nilai statistik uji yang diamati masih berarti. *p-value* juga dapat didefinisikan sebagai peluang kesalahan ditolaknya hipotesis H_0 atau sebuah hipotesis alternatif H_a diterima. Dalam hal ini hipotesa yang terjadi adalah :

H_0 : tidak terdapat hubungan antara parameter air baku dengan BOD

H_a : terdapat hubungan antara parameter air baku dengan BOD

Taraf signifikansi pada sebuah penelitian biasanya ditetapkan sebesar 5% (taraf kesalahan). Hal ini berarti bahwa peluang kesalahan yang ditoleransi dalam penelitian adalah sebesar 5% atau 0,05. Sehingga apabila hasil pengujian statistik didapatkan *p-value* $\leq 0,05$, berarti peluang kesalahan yang didapatkan masih dalam toleransi yang

ditetapkan, sehingga dapat dikatakan signifikan. Namun, apabila hasil pengujian statistik didapatkan $p\text{-value} > 0,05$, maka berarti peluang kesalahan yang didapatkan di luar toleransi yang ditetapkan, sehingga dapat dikatakan tidak signifikan. Tabel 3.4. menunjukkan hasil analisis signifikansi ($p\text{-value}$) antar parameter yang digunakan dengan parameter BOD didapatkan hasil :

Tabel 3.4. Pengukuran $p\text{-Value}$

No	Parameter	P-Value
1	Warna	0.001
2	<i>Turbidity</i>	0.001
3	Alkalinitas	0.009
4	Sulfida	0.011
5	CO_2 bebas	0.025
6	Suhu	0.113
7	Nitrit	0.164
8	Pospat	0.278
9	pH	0.471
10	DO	0.585
11	Amonia	0.661

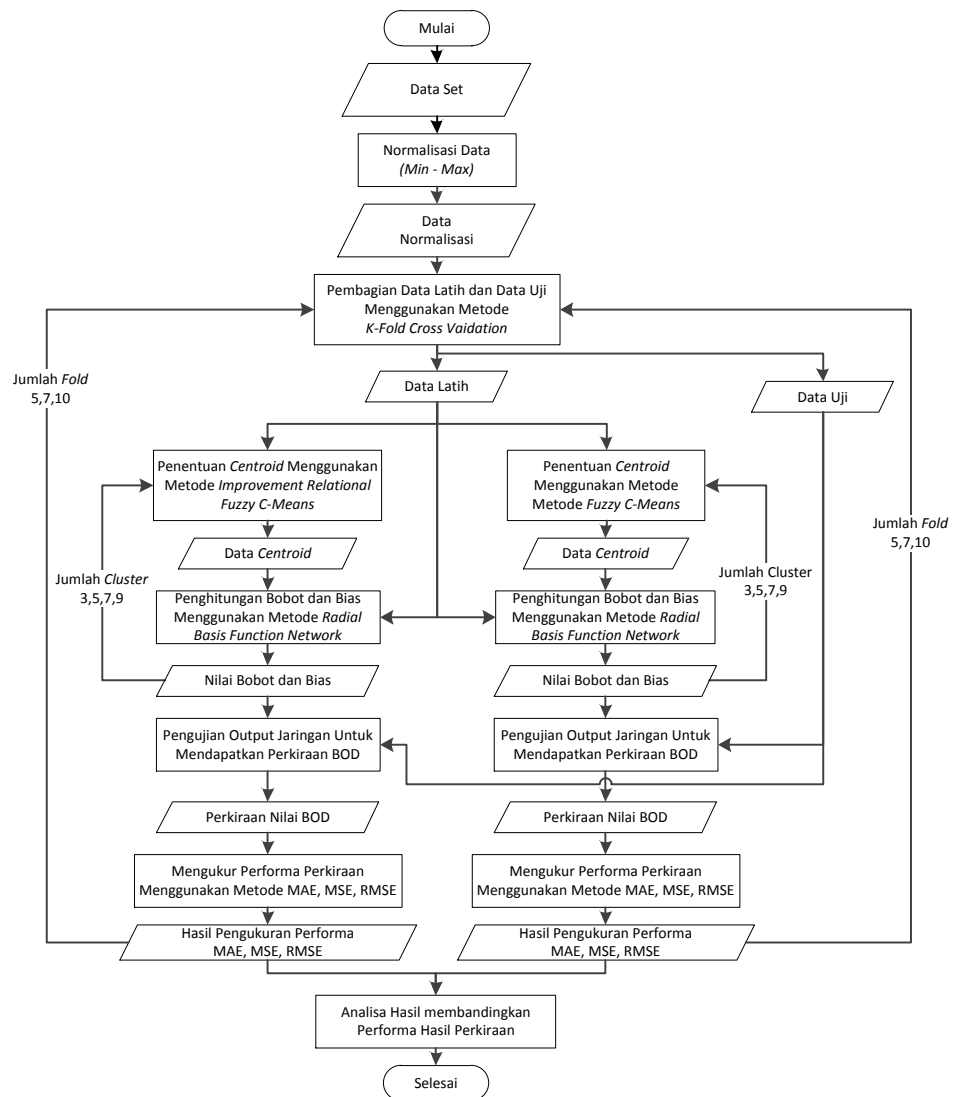
Tabel 3.4 menunjukkan hasil bahwa parameter warna, *turbidity*, alkalinitas, sulfida dan CO_2 bebas mempunyai pengaruh signifikan atau dengan kata lain terdapat hubungan antara parameter *input* dengan parameter BOD (H_0 ditolak dan H_a diterima) karena bernilai $< 0,05$ dengan tingkat kepercayaan 95%. Sedangkan parameter suhu, nitrit, pospat, *pH*, DO, dan amonia tidak terdapat hubungan yang signifikan dengan parameter BOD dengan nilai $p\text{-value} > 0.05$.

3. Pengujian

Skenario pengujian dilakukan dengan melakukan perubahan jumlah komposisi data latih dan data uji. Pembagian data latih dan data uji menggunakan metode validasi silang atau *k-fold cross validation* seperti yang sudah dijelaskan pada bab 2.9. Jumlah *fold* yang digunakan dalam skenario pengujian berjumlah 5, 7, dan 10 *fold*. Sehingga didapatkan komposisi 80 : 20, 85 : 15, dan 90 : 10 untuk data latih dan data uji.

Skenario pengujian juga dilakukan pada jumlah *cluster* yang digunakan. Hal ini berarti bahwa jumlah *centroid* dan jumlah *hidden layer* dalam metode *Radial Basis Function Network* akan berubah-ubah. Tujuan yang diinginkan agar mendapatkan jumlah *cluster* yang menghasilkan nilai perkiraan yang stabil untuk perkiraan nilai BOD. Jumlah *cluster* dalam skenario pengujian berjumlah 3, 5, 7, dan 9 *cluster*.

Perulangan (*iterasi*) pada tiap skenario dilakukan sebanyak 5 kali dengan tujuan untuk melihat kestabilan model yang dibangun. Perulangan dilakukan menggunakan data latih dan data uji yang sama. Perubahan hanya pada *centroid* yang dilakukan proses penentuan *centroid* kembali. Gambar 3.7 menunjukkan diagram skenario pengujian.



Gambar 3.7. Diagram Skenario Pengujian

4. Pengukuran Performa

Pengukuran performa dilakukan dengan melakukan pengujian perkiraan nilai BOD menggunakan data uji. Nilai BOD dari data latih kemudian dikurangi dengan hasil perkiraan BOD untuk mendapatkan nilai *error*-nya. Nilai *error* yang dihasilkan dari tiap *fold* data uji dihitung untuk mendapatkan nilai *Mean Absolute Error* (MAE), *Mean Square Error* (MSE), *Root Mean Square Error* (RMSE), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Nilai MAE, MSE, RMSE dan MAPE dari tiap *fold* kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan Nilai MAE, MSE, RMSE, dan MAPE pada setiap perulangan proses. Metode pengukuran MAE, MSE, RMSE, dan MAPE telah dibahas pada Sub-bab 2.10.

3. 4. Analisa Hasil

Setelah mendapatkan performa dari metode perkiraan yang diusulkan untuk memperkirakan nilai BOD yaitu nilai *MAE*, *MSE*, *RMSE*, dan *MAPE*. Kemudian dilakukan analisa terhadap hasil tersebut.

Tahap evaluasi hasil dilakukan untuk mengetahui sejauh mana performa perkiraan nilai BOD dari metode yang diusulkan yaitu RBFN yang menggunakan IRFCM dan FCM sebagai metode pembandingan dalam penentuan *centroid*-nya menggunakan pengukuran *MAE*, *MSE*, *RMSE*, dan *MAPE*. Selain itu pada tahap ini juga dilakukan perbandingan performa dari berbagai skenario pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan nilai *MAE*, *MSE*, *RMSE*, dan *MAPE* terkecil, terbesar dan kestabilan hasil pengujian dengan mengukur standar deviasinya.

Kemudian tahap analisa hasil dilakukan untuk mengetahui sejauh mana dampak perubahan jumlah *cluster* terhadap performa perkiraan nilai BOD dari metode yang diusulkan yaitu RBFN yang menggunakan IRFCM dan FCM sebagai metode pembandingan dalam penentuan *centroid*-nya menggunakan pengukuran *MAE*, *MSE*, *RMSE*, dan *MAPE*.

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai proses implementasi, pengujian dan hasil evaluasi berdasarkan skenario uji coba yang telah dirancang. Hasil evaluasi setiap skenario ujicoba akan dianalisis dan dibahas sehingga didapatkan kesimpulan mengenai performa sistem.

4.1. Perangkat Implementasi

Penelitian ini diimplementasikan menggunakan komputer (laptop) dengan spesifikasi perangkat keras sebagai berikut :

1. Processor Intel(R) Core(TM) i7-3520M CPU @ 2.90GHz (4 CPUs)
2. Memory RAM 16 Gigabyte
3. Harddisk SSD 256 Gigabyte

Metode penelitian yang diusulkan dalam penelitian ini diimplementasikan menggunakan perangkat lunak sebagai berikut :

1. Sistem Operasi Windows 7 Ultimate 64-bit Service Pack 1
2. Bahasa Pemrograman Matlab R2019a

4.2. Implementasi Sistem

Implementasi sistem terdiri dari tiga tahap yaitu tahap preprocessing data meliputi proses normalisasi data dengan metode *min-max* dan pembagian data latih dan data uji dengan metode *K-fold cross validation*. Tahap berikutnya adalah *clustering* dengan metode *Improvement Relational Fuzzy C-Means* dan *Fuzzy C-Means*. Dan tahap terakhir adalah tahap perkiraan dengan metode *Radial Basis Function Network*.

4.2.1. Preprocessing

Pada tahap preprocessing, dilakukan proses normalisasi dengan tujuan untuk menyeimbangkan skala nilai antar parameter menggunakan metode *min-max* seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab 2.5. Hasil proses normalisasi ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Normalisasi Data

Suhu	Turbidity	Warna	pH	Alkalinitas	CO ₂ bebas	DO	Nitrit	Amonia	Pospat	Sulfida	BOD
0.279	0.131	0.492	0.819	0.605	0.054	0.652	0.112	0.078	0.125	0.096	0.667
0.262	1.000	0.107	0.733	0.272	0.005	0.608	0.145	0.124	0.195	0.535	0.733
0.246	0.178	0.287	0.776	0.771	0.060	0.483	0.477	0.074	0.158	0.136	0.733
0.279	0.086	0.322	0.819	0.730	0.066	0.566	0.135	0.032	0.245	0.112	0.800
0.246	0.247	0.255	0.733	0.563	0.071	0.558	0.163	0.158	0.197	0.232	0.800
0.410	0.403	0.427	0.733	0.605	0.089	0.594	0.167	0.047	0.080	0.160	0.733
.....
0.377	0.316	0.023	0.466	0.317	0.207	0.182	0.086	0.158	0.046	0.053	0.467

Tahap selanjutnya adalah pembagian data latih dan data uji dengan metode *k-fold cross validation* seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab 2.9. pada penelitian ini jumlah *k* pada *k-fold cross validation* sebanyak 5, 7 dan 10 seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. *K-fold Cross Validation*

<i>k-Fold</i>	Jumlah Data	Data Latih	Data Uji	Komposisi
5	256	205	51	80 : 20
7	256	220	36	85 : 15
10	256	231	25	90 : 10

4.2.2. Clustering

Penentuan *centroid* dalam metode perkiraan RBFN sangat penting karena menjadi bagian dalam fungsi aktivasi *Gaussian*. Jumlah *cluster* juga menentukan jumlah *hidden layer* yang digunakan sehingga penggunaan metode *clustering* dapat meningkatkan kualitas keluaran yang dihasilkan. Data latih digunakan untuk menentukan *centroid*.

Metode *clustering* untuk menentukan *centroid* adalah IRFCM seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab 2.7. IRFCM pada dasarnya sama dengan FCM yang dijelaskan pada sub bab 2.6. Perbedaannya terletak pada data *input* yang digunakan, pada FCM menggunakan data asli. Sedangkan pada IRFCM menggunakan data jarak antar data.

Kemampuan IRFCM dalam menentukan *centroid* akan dibandingkan dengan FCM menggunakan data latih yang sama sehingga dapat diketahui metode *clustering* mana yang lebih baik dalam menentukan *centroid*. Jumlah *cluster* yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 3, 5, 7 dan 9 *cluster*.

4.2.3. Perkiraan

Perkiraan nilai BOD menggunakan metode *Radial Basis Function Network* seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab 2.8. Pada tahap perkiraan dilakukan proses untuk mendapatkan nilai bobot dan bias yang berasal dari pengolahan data latih dan *centroid*. Langkah-langkah perkiraan nilai BOD sebagai berikut :

1. Mempersiapkan :

1. Data Latih

Suhu	Turbidity	Warna	pH	Alkalinitas	CO ₂ bebas	DO	Nitrit	Amonia	Pospat	Sulfida
0.75410	0.03605	0.03506	0.53448	0.40330	0.18118	1.00000	0.09900	0.01340	0.08562	0.04255
0.52459	0.96162	0.36561	0.38793	0.12109	0.20147	0.56240	0.06015	0.26446	0.39942	1.00000
0.60656	0.03286	0.01002	0.58621	0.51158	0.17160	0.38705	0.09398	0.17835	0.32827	0.02394
0.36066	0.04885	0.18531	0.75000	0.50473	0.08340	0.56872	0.08020	0.09743	0.14354	0.08511
0.28689	0.01516	0.03005	0.82759	0.45011	0.05044	0.32701	0.02757	0.02481	0.09428	0.09574
0.27869	0.83156	0.30885	0.52586	0.51304	0.21386	0.55134	0.00501	0.02066	0.07646	0.02394
0.40984	0.58636	0.02170	0.57759	0.33581	0.13976	0.59400	0.06015	0.13478	0.09732	0.10638
0.67213	0.24735	0.11853	0.54310	0.41713	0.17892	0.57504	0.01754	0.09225	0.02668	0.29787
0.55738	0.30215	0.05843	0.38793	0.28176	0.25838	0.46288	0.19549	0.00614	0.07779	0.09309
0.70492	0.01945	0.08013	0.54310	0.50352	0.19893	0.32701	0.12782	0.15449	0.06569	0.04255
0.75410	0.34969	0.04007	0.24138	0.28348	0.41589	0.23697	0.10902	0.12114	0.04185	0.07181
0.42623	0.05439	0.00501	0.37931	0.42176	0.31643	0.41074	0.00977	0.21881	0.19758	0.03723
0.57377	0.38466	0.08347	0.25862	0.39232	0.44830	0.38705	0.11153	0.18250	0.20177	0.07713
0.83607	0.00947	0.05175	0.44828	0.46806	0.26571	0.34913	0.08145	0.18128	0.07502	0.10638
0.54098	0.01857	0.01169	0.67241	0.70898	0.16005	0.30174	0.02005	0.01859	0.14827	0.05585
.....
0.67213	0.08915	0.04841	0.38793	0.54202	0.19555	0.42496	0.23935	0.01340	0.09402	0.10106

2. Centroid atau Pusat Cluster

C1	0.40984	0.21963	0.50250	0.89655	0.58389	0.03184	0.57188	0.13784	0.13478	0.08112	0.14628
C2	0.67213	0.15204	0.02170	0.11207	0.48043	0.75458	0.16904	0.33208	0.17851	0.14369	0.05851
C3	0.40984	0.21963	0.50250	0.89655	0.58389	0.03184	0.57188	0.13784	0.13478	0.08112	0.14628

3. Menghitung jarak data (r) dengan *centroid*

Data ke-	C1	C2	C3
1	0.87581	1.14422	0.87581
2	1.39183	1.57939	1.39183
3	0.74245	0.85074	0.74245
4	0.41829	1.10586	0.41829
5	0.62456	1.14937	0.62456
6	0.80672	1.20309	0.80672
7	0.74092	1.06487	0.74092
8	0.65849	0.93906	0.65849
.....
205	0.79253	0.709024	0.79253

4. Menghitung jarak antar *centroid* (d)

0.00000	1.29095	0.00000
1.29095	0.00000	1.29095
0.00000	1.29095	0.00000

5. Menghitung nilai spread (σ)

$$\sigma = \frac{\max d}{\sqrt{jml\ cluster}} = \frac{1.29095}{\sqrt{3}} = 0.74533$$

6. Menghitung fungsi aktivasi (φ)

$$\varphi = \exp - \frac{r^2}{\sigma^2} = \frac{0.87581^2}{0.74533^2} = \frac{0.76704}{0.55552} = 0.21538$$

φ_1	φ_2	φ_3
0.25138	0.09472	0.25138

7. Menyusun matrix G dari perhitungan fungsi aktivasi (φ) dan menambahkan satu kolom paling kanan berisi nilai bias yang bernilai satu.

Data ke-	φ_1	φ_2	φ_3	Bias
1	0.25138	0.09472	0.25138	1.00000
2	0.03059	0.01122	0.03059	1.00000
3	0.37072	0.27175	0.37072	1.00000
4	0.72981	0.11065	0.72981	1.00000
5	0.49550	0.09273	0.49550	1.00000
6	0.30989	0.07386	0.30989	1.00000
7	0.37224	0.12987	0.37224	1.00000
.....
205	0.32282	0.40456	0.32282	1.00000

8. Menyusun matrix G^T dengan melakukan transpose terhadap matrix G

Data ke-	1	2	3	4	5	6	7	8	.....	205
φ_1	0.25138	0.03059	0.37072	0.72981	0.49550	0.30989	0.37224	0.45815	.....	0.32282
φ_2	0.09472	0.01122	0.27175	0.11065	0.09273	0.07386	0.12987	0.20445	.....	0.40456
φ_3	0.25138	0.03059	0.37072	0.72981	0.49550	0.30989	0.37224	0.45815	.....	0.32282
Bias	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	.....	1.00000

9. Membuat matrix $G^T G$ dengan mengalikan matrix G dengan matrix G^T

30.11489	16.04438	30.11489	66.99123
16.04438	29.87479	16.04438	65.79518
30.11489	16.04438	30.11489	66.99123
66.99123	65.79518	66.99123	205.00000

10. Membuat matrix pseudoinverse (G^{inv}) terhadap matrix $G^T G$

0.05183	0.06459	0.05183	-0.05461
0.06459	0.19467	0.06459	-0.10469
0.05183	0.06459	0.05183	-0.05461
-0.05461	-0.10469	-0.05461	0.07417

11. Menyusun matrix $G^T d$ Mengalikan matrix G^T dengan target data latih d

31.60855
31.64587
31.60855
95.73333

12. Menghitung bobot baru (w) dengan membuat transpose matrix (w') dari perkalian matrix pseudoinverse (G^{inv}) dengan matrix ($G^T d$)

w1	w2	w3	bias
0.09303	0.22099	0.09303	0.33526

Setelah mendapatkan nilai bobot dan bias, kemudian dilakukan proses perkiraan untuk data uji dengan cara :

1. Mempersiapkan data uji

Suhu	Turbidity	Warna	pH	Alkalinitas	CO ₂ bebas	DO	Nitrit	Amonia	Pospat	Sulfida
0.55738	0.08445	0.04841	0.54310	0.32369	0.14201	0.54976	0.10276	0.20429	0.14093	0.08245
0.59016	0.03968	0.02676	0.44828	0.45404	0.26148	0.36177	0.10652	0.15242	0.18701	0.05319
0.54098	0.04288	0.00835	0.36207	0.45411	0.27698	0.20063	0.07519	0.14723	0.25925	0.02128
0.44262	0.04416	0.08347	0.68103	0.39156	0.09834	0.46919	0.09774	0.25305	0.24331	0.06915
.....
0.57377	0.15823	0.10351	0.38793	0.54615	0.34320	0.43444	0.14536	0.63794	0.10988	0.20745

2. Menghitung jarak (r) antara data uji ke- i dengan *centroid*

C1	0.68206
C2	0.89601
C3	0.68206

3. Menghitung fungsi aktivasi (φ) dari data uji ke- i

$$\varphi = \exp - \frac{r^2}{\sigma^2} = \frac{0.68206^2}{0.74533^2} = \frac{0.46521}{0.55552} = 0.43282$$

φ_1	0.43282
φ_2	0.23570
φ_3	0.43282

4. Melakukan transpose (y) hasil perhitungan fungsi aktivasi (φ)

y_1	y_2	y_3
0.43282	0.23570	0.43282

5. Melakukan perkiraan (Y) dengan mengalikan (y) dengan bobot (w), kemudian ditambah nilai bias.

$$Y = w_1 * y_1 + w_2 * y_2 \dots \dots w_n * y_n + bias$$

$$Y = 0.09303 \times 0.43282 + 0.22099 \times 0.23570 +$$

$$0.09303 \times 0.43282 + 0.33526 = 0.46788$$

Tahapan perkiraan diatas dilakukan pada setiap *fold* dengan menghitung nilai bobot dan bias dari setiap *fold*. Kemudian dilakukan pengujian menggunakan data uji. Sehingga setiap data uji menghasilkan hasil perkiraan nilai BOD.

4.3. Evaluasi Hasil

Evaluasi hasil dilakukan untuk mengetahui performa perkiraan menggunakan pengukuran *Mean Absolute Error* (MAE), *Mean Square Error* (MSE), *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absoute Percentage Error* (MAPE) yang sudah dijelaskan pada sub bab 2.10.

Untuk mendapatkan nilai MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dilakukan proses perhitungan dengan melakukan proses *rescale* nilai target dan nilai perkiraan BOD dari nilai yang dinormalisasi pada keluaran proses perkiraan ke nilai original. Kemudian mengurangkan nilai target data uji dengan hasil perkiraan pada setiap *fold* untuk mendapatkan nilai *error* nya yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Rescale Hasil Perkiraan

Data ke -	Output Sistem			Rescale Nilai Original		
	Target	IRFCM	FCM	Target	IRFCM	FCM
1	0.33333	0.46788	0.46699	10	12.01820	12.00485
2	0.4	0.4908	0.46699	11	12.36200	12.00485
3	0.33333	0.48287	0.46699	10	12.24305	12.00485
4	0.13333	0.47082	0.46699	7	12.06230	12.00485
5	0.26667	0.45133	0.46699	9	11.76995	12.00485
6	0.46667	0.4277	0.46699	12	11.41550	12.00485
7	0.4	0.47139	0.46699	11	12.07085	12.00485
8	0.06667	0.47431	0.46699	6	12.11465	12.00485
9	0.13333	0.47526	0.46699	7	12.12890	12.00485
10	0.33333	0.46444	0.46699	10	11.96660	12.00485
11	0.73333	0.51401	0.46699	16	12.71015	12.00485
12	0.4	0.46796	0.46699	11	12.01940	12.00485
13	0.4	0.49124	0.46699	11	12.36860	12.00485
14	0.46667	0.47235	0.46699	12	12.08525	12.00485
15	0.26667	0.46026	0.46699	9	11.90390	12.00485
16	0.86667	0.48397	0.46699	18	12.25955	12.00485
17	0.4	0.44817	0.46699	11	11.72255	12.00485
18	0.46667	0.46516	0.46699	12	11.97740	12.00485
19	0.13333	0.47039	0.46699	7	12.05585	12.00485
20	0.26667	0.45225	0.46699	9	11.78375	12.00485
21	0.26667	0.41929	0.46699	9	11.28935	12.00485
22	0.46667	0.47414	0.46699	12	12.11210	12.00485
23	0.8	0.4909	0.46699	17	12.36350	12.00485
24	0.33333	0.45551	0.46699	10	11.83265	12.00485
25	0.13333	0.46467	0.46699	7	11.97005	12.00485
26	0.8	0.50638	0.46699	17	12.59570	12.00485
27	0.26667	0.47308	0.46699	9	12.09620	12.00485
28	0.66667	0.50498	0.46699	15	12.57470	12.00485
29	0.73333	0.48986	0.46699	16	12.34790	12.00485
30	0.26667	0.4226	0.46699	9	11.33900	12.00485
31	0.4	0.4807	0.46699	11	12.21050	12.00485
32	1	0.41222	0.46699	20	11.18330	12.00485
33	0.53333	0.36547	0.46699	13	10.48205	12.00485
34	0.4	0.46369	0.46699	11	11.95535	12.00485
35	0.4	0.42245	0.46699	11	11.33675	12.00485
36	0.4	0.48904	0.46699	11	12.33560	12.00485

37	0.53333	0.47092	0.46699	13	12.06380	12.00485
38	0.66667	0.46857	0.46699	15	12.02855	12.00485
39	0.46667	0.47604	0.46699	12	12.14060	12.00485
40	0.4	0.47175	0.46699	11	12.07625	12.00485
41	0.46667	0.53037	0.46699	12	12.95555	12.00485
42	0.73333	0.45537	0.46699	16	11.83055	12.00485
43	0.53333	0.44316	0.46699	13	11.64740	12.00485
44	0.4	0.46715	0.46699	11	12.00725	12.00485
45	0.2	0.47661	0.46699	8	12.14915	12.00485
46	0.73333	0.48563	0.46699	16	12.28445	12.00485
47	0.2	0.49649	0.46699	8	12.44735	12.00485
48	0.46667	0.46365	0.46699	12	11.95475	12.00485
49	0.6	0.42481	0.46699	14	11.37215	12.00485
50	0.33333	0.4797	0.46699	10	12.19550	12.00485
51	0.4	0.45178	0.46699	11	11.77670	12.00485

Pada Tabel 4.3 menunjukkan proses *rescaling* pengembalian hasil perkiraan nilai BOD dari nilai keluaran yang masih dalam bentuk data yang di normaisasi ke nilai BOD original pada 1 *fold* data uji. Kemudian dilakukan pengukuran *error* yang berisi pengukuran selisih nilai perkiraan dari nilai target. Pengukuran performa perkiraan nilai BOD menggunakan nilai *error* tersebut dengan menghitung nilai MAE, MSE, RMSE, dan MAPE. Tabel 4.4. menunjukkan hasil pengukuran performa menggunakan MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari 1 *fold* data uji.

Tabel 4.4. Pengukuran Performa MAE, MSE, RMSE, dan MAPE

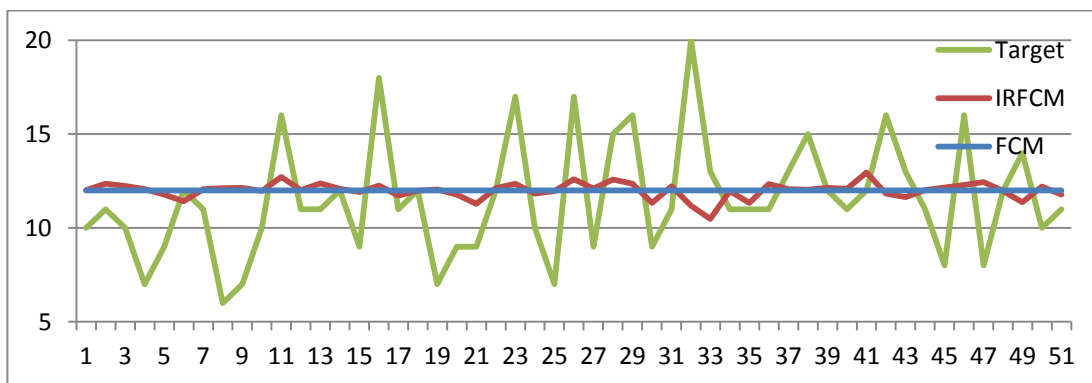
Data ke -	Rescale Nilai Original			<i>Error</i>		ABS <i>Error</i>		<i>Square Error</i>		<i>Percentage Error</i>	
	Target	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM
1	10	12.01820	12.00485	-2.01825	-2.00490	2.01825	2.00490	4.07333	4.01962	0.20183	0.20049
2	11	12.36200	12.00485	-1.36200	-1.00485	1.36200	1.00485	1.85504	1.00972	0.12382	0.09135
3	10	12.24305	12.00485	-2.24310	-2.00490	2.24310	2.00490	5.03150	4.01962	0.22431	0.20049
4	7	12.06230	12.00485	-5.06235	-5.00490	5.06235	5.00490	25.62739	25.04902	0.72320	0.71499
5	9	11.76995	12.00485	-2.76990	-3.00480	2.76990	3.00480	7.67235	9.02882	0.30776	0.33386
6	12	11.41550	12.00485	0.58455	-0.00480	0.58455	0.00480	0.34170	0.00002	0.04871	0.00040
7	11	12.07085	12.00485	-1.07085	-1.00485	1.07085	1.00485	1.14672	1.00972	0.09735	0.09135
8	6	12.11465	12.00485	-6.11465	-6.00485	6.11465	6.00485	37.38888	36.05816	1.01911	1.00081
9	7	12.12890	12.00485	-5.12895	-5.00490	5.12895	5.00490	26.30613	25.04902	0.73271	0.71499
10	10	11.96660	12.00485	-1.96665	-2.00490	1.96665	2.00490	3.86771	4.01962	0.19667	0.20049

11	16	12.71015	12.00485	3.28980	3.99510	3.28980	3.99510	10.82278	15.96082	0.20561	0.24969
12	11	12.01940	12.00485	-1.01940	-1.00485	1.01940	1.00485	1.03918	1.00972	0.09267	0.09135
13	11	12.36860	12.00485	-1.36860	-1.00485	1.36860	1.00485	1.87307	1.00972	0.12442	0.09135
14	12	12.08525	12.00485	-0.08520	-0.00480	0.08520	0.00480	0.00726	0.00002	0.00710	0.00040
15	9	11.90390	12.00485	-2.90385	-3.00480	2.90385	3.00480	8.43234	9.02882	0.32265	0.33386
16	18	12.25955	12.00485	5.74050	5.99520	5.74050	5.99520	32.95334	35.94242	0.31892	0.33307
17	11	11.72255	12.00485	-0.72255	-1.00485	0.72255	1.00485	0.52208	1.00972	0.06569	0.09135
18	12	11.97740	12.00485	0.02265	-0.00480	0.02265	0.00480	0.00051	0.00002	0.00189	0.00040
19	7	12.05585	12.00485	-5.05590	-5.00490	5.05590	5.00490	25.56212	25.04902	0.72228	0.71499
20	9	11.78375	12.00485	-2.78370	-3.00480	2.78370	3.00480	7.74899	9.02882	0.30930	0.33386
21	9	11.28935	12.00485	-2.28930	-3.00480	2.28930	3.00480	5.24089	9.02882	0.25437	0.33386
22	12	12.11210	12.00485	-0.11205	-0.00480	0.11205	0.00480	0.01256	0.00002	0.00934	0.00040
23	17	12.36350	12.00485	4.63650	4.99515	4.63650	4.99515	21.49713	24.95152	0.27274	0.29383
24	10	11.83265	12.00485	-1.83270	-2.00490	1.83270	2.00490	3.35879	4.01962	0.18327	0.20049
25	7	11.97005	12.00485	-4.97010	-5.00490	4.97010	5.00490	24.70189	25.04902	0.71002	0.71499
26	17	12.59570	12.00485	4.40430	4.99515	4.40430	4.99515	19.39786	24.95152	0.25908	0.29383
27	9	12.09620	12.00485	-3.09615	-3.00480	3.09615	3.00480	9.58614	9.02882	0.34401	0.33386
28	15	12.57470	12.00485	2.42535	2.99520	2.42535	2.99520	5.88232	8.97122	0.16169	0.19968
29	16	12.34790	12.00485	3.65205	3.99510	3.65205	3.99510	13.33747	15.96082	0.22825	0.24969
30	9	11.33900	12.00485	-2.33895	-3.00480	2.33895	3.00480	5.47069	9.02882	0.25988	0.33386
31	11	12.21050	12.00485	-1.21050	-1.00485	1.21050	1.00485	1.46531	1.00972	0.11005	0.09135
32	20	11.18330	12.00485	8.81670	7.99515	8.81670	7.99515	77.73420	63.92242	0.44084	0.39976
33	13	10.48205	12.00485	2.51790	0.99510	2.51790	0.99510	6.33982	0.99022	0.19369	0.07655
34	11	11.95535	12.00485	-0.95535	-1.00485	0.95535	1.00485	0.91269	1.00972	0.08685	0.09135
35	11	11.33675	12.00485	-0.33675	-1.00485	0.33675	1.00485	0.11340	1.00972	0.03061	0.09135
36	11	12.33560	12.00485	-1.33560	-1.00485	1.33560	1.00485	1.78383	1.00972	0.12142	0.09135
37	13	12.06380	12.00485	0.93615	0.99510	0.93615	0.99510	0.87638	0.99022	0.07201	0.07655
38	15	12.02855	12.00485	2.97150	2.99520	2.97150	2.99520	8.82981	8.97122	0.19810	0.19968
39	12	12.14060	12.00485	-0.14055	-0.00480	0.14055	0.00480	0.01975	0.00002	0.01171	0.00040
40	11	12.07625	12.00485	-1.07625	-1.00485	1.07625	1.00485	1.15831	1.00972	0.09784	0.09135
41	12	12.95555	12.00485	-0.95550	-0.00480	0.95550	0.00480	0.91298	0.00002	0.07962	0.00040
42	16	11.83055	12.00485	4.16940	3.99510	4.16940	3.99510	17.38390	15.96082	0.26059	0.24969
43	13	11.64740	12.00485	1.35255	0.99510	1.35255	0.99510	1.82939	0.99022	0.10404	0.07655
44	11	12.00725	12.00485	-1.00725	-1.00485	1.00725	1.00485	1.01455	1.00972	0.09157	0.09135
45	8	12.14915	12.00485	-4.14915	-4.00485	4.14915	4.00485	17.21545	16.03882	0.51864	0.50061
46	16	12.28445	12.00485	3.71550	3.99510	3.71550	3.99510	13.80494	15.96082	0.23222	0.24969
47	8	12.44735	12.00485	-4.44735	-4.00485	4.44735	4.00485	19.77892	16.03882	0.55592	0.50061
48	12	11.95475	12.00485	0.04530	-0.00480	0.04530	0.00480	0.00205	0.00002	0.00377	0.00040
49	14	11.37215	12.00485	2.62785	1.99515	2.62785	1.99515	6.90560	3.98062	0.18770	0.14251

50	10	12.19550	12.00485	-2.19555	-2.00490	2.19555	2.00490	4.82044	4.01962	0.21956	0.20049
51	11	11.77670	12.00485	-0.77670	-1.00485	0.77670	1.00485	0.60326	1.00972	0.07061	0.09135
		MAE		2.48648	2.45318						
		MSE				9.69144	9.67109				
		RMSE				3.11311	3.10984				
		MAPE								23.95288	23.64214

Tabel 4.4. menunjukkan performa perkiraan dari 1 *fold* data uji. Setiap data uji dilakukan perhitungan *error* nya. Nilai *error* tersebut kemudian diabsolutkan untuk mendapatkan nilai *absolute error* dan dipangkat duakan untuk mendapatkan nilai *square error*. Nilai *percentage error* didapatkan dengan menghitung persentase *absolute* kesalahan perkiraan.

Seluruh nilai *absolute error* pada tiap *fold* kemudian di jumlahkan untuk mendapatkan nilai MAE dari setiap *fold* dan seluruh nilai *square error* juga dijumlahkan untuk mendapatkan nilai MSE. Nilai RMSE didapatkan dengan mengakarkan nilai MSE. Nilai MAPE didapatkan dengan menghitung rata-rata persentase *error* dan dikalikan 100. Perbandingan nilai target data uji dengan nilai hasil perkiraan pada setiap data uji dalam satu *fold* dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini:



Gambar 4.1. Hasil Perkiraan

Konsistensi hasil pengukuran diperlukan untuk mengetahui bahwa sistem yang dibangun sudah cukup baik untuk melakukan perkiraan. Dilakukan perulangan proses pada setiap skenario sebanyak 5 kali, untuk melihat konsistensi hasil pengukuran. Hasil pengukuran pada tiap proses diambil dengan menghitung rata-rata MAE, MSE, RMSE dan MAPE pada tiap *fold* dengan hasil sebagai berikut :

4.3.1. Pengujian dengan 5 Fold

Pengujian dilakukan dengan 5 *fold cross validation* yang berarti komposisi data latih dan data uji sebesar 80 : 20. Proses pengujian dilakukan 5 kali perulangan menggunakan data latih dan data uji pada tiap *fold* yang sama untuk melihat konsistensi hasil perkiraan.

Selain proses perkiraan, pada setiap perulangan juga dilakukan proses *clustering* pada data latih untuk mendapatkan *centroid* baru. Sehingga setiap perulangan menggunakan *centroid* yang berbeda. Hal ini bertujuan agar dapat melihat konsistensi hasil perkiraan menggunakan *centroid* yang berbeda. Jumlah *cluster* setiap skenario dilakukan perubahan dari 3, 5, 7, hingga 9 *cluster*. Tabel 4.5 menunjukkan performa perkiraan nilai BOD dengan 3 *cluster* pada 5 *fold*.

Tabel 4.5. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 3 Cluster pada 5 Fold

Cluster	Perulangan	Fold	MAE		MSE		RMSE		MAPE	
			IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	iRFCM	FCM
3	1	1	2.48648	2.45318	9.69144	9.67109	3.11311	3.10984	23.95288	23.64214
		2	1.99095	2.19811	6.35132	7.83524	2.52018	2.79915	18.64746	20.50757
		3	2.22327	2.29115	7.63389	7.97820	2.76295	2.82457	19.10304	19.39983
		4	2.73272	2.85591	11.88804	12.09233	3.44790	3.47740	26.30794	27.43739
		5	2.13623	2.17924	7.86454	7.83990	2.80438	2.79998	19.27159	19.66429
		Rata-Rata	2.31393	2.39552	8.68584	9.08335	2.92970	3.00219	21.45658	22.13025
	2	1	2.48648	2.45318	9.69144	9.67109	3.11311	3.10984	23.95288	23.64214
		2	2.16710	2.19645	7.75294	7.83835	2.78441	2.79970	20.02601	20.46048
		3	2.22327	2.29115	7.63389	7.97820	2.76295	2.82457	19.10304	19.39983
		4	2.73272	2.87142	11.88804	12.10774	3.44790	3.47962	26.30794	27.59091
		5	2.13623	2.17924	7.86454	7.83990	2.80438	2.79998	19.27159	19.66429
		Rata-Rata	2.34916	2.39829	8.96617	9.08706	2.98255	3.00274	21.73229	22.15153
	3	1	2.48648	2.45318	9.69144	9.67109	3.11311	3.10984	23.95288	23.64214
		2	1.99095	2.19798	6.35132	7.82692	2.52018	2.79766	18.64746	20.48585
		3	2.22327	2.29115	7.63389	7.97820	2.76295	2.82457	19.10304	19.39983
		4	2.73272	2.87445	11.88804	12.11688	3.44790	3.48093	26.30794	27.61986
		5	2.13623	2.17924	7.86454	7.83990	2.80438	2.79998	19.27159	19.66429
		Rata-Rata	2.31393	2.39920	8.68584	9.08660	2.92970	3.00260	21.45658	22.16239
	4	1	2.48648	2.45318	9.69144	9.67109	3.11311	3.10984	23.95288	23.64214
		2	1.89150	2.19487	5.82655	7.84349	2.41382	2.80062	17.63635	20.47808
		3	2.22327	2.29115	7.63389	7.97820	2.76295	2.82457	19.10304	19.39983
		4	2.73508	2.84042	11.84827	12.12796	3.44213	3.48252	26.34043	27.28140
		5	2.13623	2.17924	7.86454	7.83990	2.80438	2.79998	19.27159	19.66429
		Rata-Rata	2.29451	2.39177	8.57294	9.09213	2.90728	3.00351	21.26086	22.09315

5	1	2.48648	2.45318	9.69144	9.67109	3.11311	3.10984	23.95288	23.64214
	2	1.99095	2.19377	6.35132	7.86046	2.52018	2.80365	18.64746	20.41879
	3	2.22327	2.29115	7.63389	7.97820	2.76295	2.82457	19.10304	19.39983
	4	2.54398	2.88267	10.62394	12.14841	3.25944	3.48546	25.14019	27.69569
	5	2.13623	2.17924	7.86454	7.83990	2.80438	2.79998	19.27159	19.66429
	Rata-Rata	2.27618	2.40000	8.43303	9.09961	2.89201	3.00470	21.22303	22.16415

Pada Tabel 4.5 menunjukkan performa MAE, MSE, RMSE dan MAPE dari pengujian dengan skenario 5 *fold* dan 3 *cluster*. Dalam pengujian dengan skenario ini dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali sehingga didapatkan nilai rata-rata performa MAE, MSE, RMSE dan MAPE dari setiap perulangan pengujian. Tabel 4.6 menunjukkan performa perkiraan nilai BOD dengan 5 *cluster* pada 5 *fold* sebanyak 5 kali perulangan.

Tabel 4.6. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 5 Cluster pada 5 Fold

Cluster	Perulangan	Fold	MAE		MSE		RMSE		MAPE	
			IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	iRFCM	FCM
5	1	1	2.22921	2.45318	8.70811	9.67109	2.95095	3.10984	21.57601	23.64214
		2	1.96593	2.20140	6.34903	7.89068	2.51973	2.80904	18.30540	20.48923
		3	2.16104	2.29115	7.15666	7.97820	2.67519	2.82457	18.79387	19.39983
		4	2.58183	3.03149	10.93759	13.93392	3.30720	3.73282	25.45158	29.01431
		5	2.06261	2.17924	7.24550	7.83990	2.69175	2.79998	18.47691	19.66429
		Rata-Rata	2.20013	2.43129	8.07938	9.46276	2.82896	3.05525	20.52076	22.44196
	2	1	2.19181	2.45318	8.53447	9.67109	2.92138	3.10984	21.21505	23.64214
		2	1.89029	2.20378	5.90485	7.87628	2.42999	2.80647	17.55529	20.53617
		3	2.16104	2.29115	7.15666	7.97820	2.67519	2.82457	18.79387	19.39983
		4	2.52840	2.90859	10.15205	12.28026	3.18623	3.50432	24.73759	27.95112
		5	2.06261	2.17924	7.24550	7.83990	2.69175	2.79998	18.47691	19.66429
		Rata-Rata	2.16683	2.40719	7.79871	9.12915	2.78091	3.00904	20.15574	22.23871
	3	1	2.19181	2.45318	8.53447	9.67109	2.92138	3.10984	21.21505	23.64214
		2	1.96593	2.20492	6.34903	7.87562	2.51973	2.80635	18.30540	20.55001
		3	2.16104	2.29115	7.15666	7.97820	2.67519	2.82457	18.79387	19.39983
		4	2.52840	2.98493	10.15205	13.23937	3.18623	3.63859	24.73759	28.63979
		5	2.06261	2.17924	7.24550	7.83990	2.69175	2.79998	18.47691	19.66429
		Rata-Rata	2.18196	2.42268	7.88754	9.32084	2.79886	3.03587	20.30576	22.37921
	4	1	2.22921	2.45318	8.70811	9.67109	2.95095	3.10984	21.57601	23.64214
		2	1.89029	2.20487	5.90485	7.87537	2.42999	2.80631	17.55529	20.55083
		3	2.16104	2.29115	7.15666	7.97820	2.67519	2.82457	18.79387	19.39983
		4	2.53937	2.99682	10.69193	13.37133	3.26985	3.65668	25.16863	28.72887
		5	2.06261	2.17924	7.24550	7.83990	2.69175	2.79998	18.47691	19.66429
		Rata-Rata	2.17651	2.42505	7.94141	9.34718	2.80355	3.03948	20.31414	22.39719

5	1	2.22921	2.45318	8.70811	9.67109	2.95095	3.10984	21.57601	23.64214
	2	1.89797	2.20002	5.87666	7.88283	2.42418	2.80764	17.57113	20.49093
	3	2.16104	2.29115	7.15666	7.97820	2.67519	2.82457	18.79387	19.39983
	4	2.52840	2.91364	10.15205	12.34822	3.18623	3.51400	24.73759	28.00124
	5	2.12253	2.17924	7.49573	7.83990	2.73783	2.79998	19.10784	19.66429
	Rata-Rata	2.18783	2.40745	7.87784	9.14405	2.79488	3.01121	20.35729	22.23969

Tabel 4.6 menunjukkan performa MAE, MSE, RMSE dan MAPE dari pengujian dengan skenario 5 *fold* dan 5 *cluster*. Kemudian dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali pada pengujian dengan skenario ini sehingga didapatkan nilai rata-rata performa MAE, MSE, RMSE dan MAPE dari setiap pengulangan pengujian. Tabel 4.7 menunjukkan performa perkiraan nilai BOD dengan 7 *cluster* pada 5 *fold* sebanyak 5 kali pengulangan.

Tabel 4.7. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 7 *Cluster* pada 5 *Fold*

Cluster	Perulangan	Fold	MAE		MSE		RMSE		MAPE	
			IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	iRFCM	FCM
7	1	1	2.25841	2.45318	8.73604	9.67109	2.95568	3.10984	21.87360	23.64214
		2	1.98109	2.21758	6.24238	7.91234	2.49848	2.81289	18.26118	20.63245
		3	2.11365	2.29115	7.29154	7.97820	2.70029	2.82457	18.19888	19.39983
		4	2.50970	2.91940	10.40057	12.38526	3.22499	3.51927	24.96763	27.99306
		5	2.10768	2.17924	7.20573	7.83990	2.68435	2.79998	19.07228	19.66429
		Rata-Rata	2.19411	2.41211	7.97525	9.15736	2.81276	3.01331	20.47471	22.26636
	2	1	2.21003	2.45318	8.49370	9.67109	2.91439	3.10984	21.40672	23.64214
		2	1.92102	2.22348	5.95463	7.93308	2.44021	2.81657	17.57411	20.69085
		3	2.15446	2.29115	7.35064	7.97820	2.71121	2.82457	18.64097	19.39983
		4	2.52510	3.00755	10.40000	13.41070	3.22490	3.66206	24.99789	28.78451
		5	2.12313	2.17924	7.51581	7.83990	2.74150	2.79998	19.13258	19.66429
		Rata-Rata	2.18675	2.43092	7.94295	9.36659	2.80644	3.04261	20.35046	22.43633
	3	1	2.25841	2.45318	8.73604	9.67109	2.95568	3.10984	21.87360	23.64214
		2	1.90324	2.21923	5.84116	7.91468	2.41685	2.81330	17.45513	20.65000
		3	2.11365	2.29115	7.29154	7.97820	2.70029	2.82457	18.19888	19.39983
		4	2.51781	2.95794	10.26067	12.85131	3.20323	3.58487	24.85499	28.35847
		5	1.97245	2.17924	6.68698	7.83990	2.58592	2.79998	17.91921	19.66429
		Rata-Rata	2.15311	2.42015	7.76328	9.25104	2.77239	3.02651	20.06036	22.34295
	4	1	2.28812	2.45318	8.73605	9.67109	2.95568	3.10984	22.14141	23.64214
		2	1.91740	2.22059	5.81576	7.91734	2.41159	2.81378	17.55899	20.66251
		3	2.11661	2.29115	7.32961	7.97820	2.70732	2.82457	18.04474	19.39983
		4	2.47299	3.00513	10.16067	13.43588	3.18758	3.66550	24.54637	28.75708
		5	2.05874	2.17924	7.23055	7.83990	2.68897	2.79998	18.47351	19.66429
		Rata-Rata	2.17077	2.42986	7.85453	9.36848	2.79023	3.04273	20.15300	22.42517

5	1	2.25841	2.45318	8.73604	9.67109	2.95568	3.10984	21.87360	23.64214
	2	1.97760	2.20910	6.15508	7.90291	2.48094	2.81121	18.27213	20.54729
	3	2.15446	2.29115	7.35064	7.97820	2.71121	2.82457	18.64097	19.39983
	4	2.63296	3.11857	11.25484	15.05792	3.35482	3.88045	25.26441	29.74894
	5	2.05753	2.17924	7.09898	7.83990	2.66439	2.79998	18.49957	19.66429
	Rata-Rata	2.21619	2.45025	8.11912	9.69001	2.83341	3.08521	20.51013	22.60050

Tabel 4.7 menunjukkan hasil pengukuran MAE, MSE, RMSE dan MAPE dengan skenario 5 *fold* dan 7 *cluster*. Pengujian dengan skenario ini dilakukan perulangan sebanyak 5 kali untuk mendapatkan nilai rata-rata performa MAE, MSE, RMSE dan MAPE dari setiap perulangan pengujian. Tabel 4.8 menunjukkan performa perkiraan nilai BOD dengan 9 *cluster* pada 5 *fold* sebanyak 5 kali perulangan.

Tabel 4.8. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 9 Cluster pada 5 Fold

Cluster	Perulangan	Fold	MAE		MSE		RMSE		MAPE	
			IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	iRFCM	FCM
9	1	1	2.17687	2.45318	8.36962	9.67109	2.89303	3.10984	20.84178	23.64214
		2	1.99212	2.19493	6.18100	7.94318	2.48616	2.81836	18.13387	20.40098
		3	2.06516	2.29115	7.10713	7.97820	2.66592	2.82457	17.73986	19.39983
		4	2.51836	3.09230	10.86620	14.51092	3.29639	3.80932	25.14709	29.43814
		5	1.99765	2.17924	6.57809	7.83990	2.56478	2.79998	18.04105	19.66429
		Rata-Rata	2.15003	2.44216	7.82041	9.58866	2.78126	3.07242	19.98073	22.50908
	2	1	2.26674	2.45318	8.81096	9.67109	2.96833	3.10984	21.99520	23.64214
		2	2.06472	2.18679	6.68317	7.89126	2.58518	2.80914	18.63695	20.33248
		3	2.06516	2.29115	7.10713	7.97820	2.66592	2.82457	17.73986	19.39983
		4	2.48304	2.82829	10.17028	11.92842	3.18909	3.45375	24.62094	27.13700
		5	2.02702	2.17924	6.86231	7.83990	2.61960	2.79998	18.34109	19.66429
		Rata-Rata	2.18134	2.38773	7.92677	9.06178	2.80562	2.99946	20.26681	22.03515
	3	1	2.26938	2.45318	8.76447	9.67109	2.96049	3.10984	21.99993	23.64214
		2	1.98412	2.21717	6.32724	7.91850	2.51540	2.81398	18.01558	20.63696
		3	2.04550	2.29115	7.17052	7.97820	2.67778	2.82457	17.33250	19.39983
		4	2.53023	3.09179	10.70333	14.22246	3.27159	3.77127	25.12722	29.48378
		5	1.97864	2.17924	6.36170	7.83990	2.52224	2.79998	17.74853	19.66429
		Rata-Rata	2.16158	2.44651	7.86545	9.52603	2.78950	3.06393	20.04475	22.56540
	4	1	2.24122	2.45318	8.42616	9.67109	2.90279	3.10984	21.46371	23.64214
		2	2.04930	2.20215	6.50883	7.88406	2.55124	2.80786	18.53681	20.50377
		3	2.14333	2.29115	7.30476	7.97820	2.70273	2.82457	18.50338	19.39983
		4	2.50841	2.87437	10.22501	12.19216	3.19766	3.49173	24.80370	27.52500
		5	1.99960	2.17924	6.90975	7.83990	2.62864	2.79998	18.21866	19.66429
		Rata-Rata	2.18837	2.40002	7.87490	9.11308	2.79661	3.00680	20.30525	22.14701

5	1	2.26938	2.45318	8.76447	9.67109	2.96049	3.10984	21.99993	23.64214
	2	1.98768	2.20285	6.30936	7.88488	2.51184	2.80800	18.28440	20.51145
	3	2.07808	2.29115	7.17124	7.97820	2.67792	2.82457	17.83769	19.39983
	4	2.55151	2.88347	11.15315	12.13588	3.33963	3.48366	25.30897	27.63967
	5	2.03178	2.17924	7.20876	7.83990	2.68491	2.79998	18.46338	19.66429
	Rata-Rata	2.18369	2.40198	8.12140	9.10199	2.83496	3.00521	20.37887	22.17148

Tabel 4.8 menunjukkan hasil pengukuran MAE, MSE, RMSE dan MAPE dengan skenario 5 *fold* dan 9 *cluster*. Pengujian dengan skenario ini dilakukan perulangan sebanyak 5 kali untuk mendapatkan nilai rata-rata performa MAE, MSE, RMSE dan MAPE dari setiap perulangan pengujian.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dengan skenario perubahan jumlah *cluster* 3, 5, 7, dan 9 *cluster* pada 5 *fold* sebanyak 5 kali perulangan menghasilkan performa MAE, MSE, RMSE dan MAPE. Nilai rata-rata dari setiap pengujian dikumpulkan agar dapat dilakukan analisa performa. Tabel 4.9 menunjukkan performa dari setiap perulangan pengujian dengan 5 *fold*.

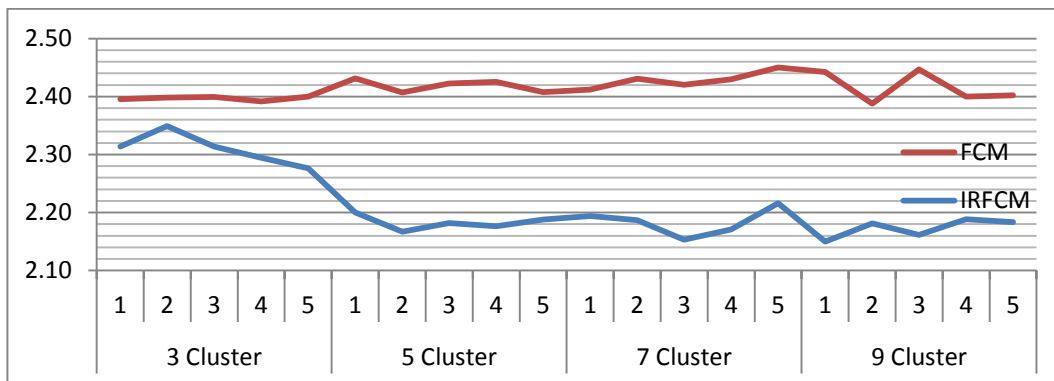
Tabel 4.9. Performa Perkiraan pada 5 *Fold*

Fold	Cluster	Perulangan	MAE		MSE		RMSE		MAPE	
			IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM
5	3	1	2.31393	2.39552	8.68584	9.08335	2.92970	3.00219	21.45658	22.13025
		2	2.34916	2.39829	8.96617	9.08706	2.98255	3.00274	21.73229	22.15153
		3	2.31393	2.39920	8.68584	9.08660	2.92970	3.00260	21.45658	22.16239
		4	2.29451	2.39177	8.57294	9.09213	2.90728	3.00351	21.26086	22.09315
		5	2.27618	2.40000	8.43303	9.09961	2.89201	3.00470	21.22303	22.16415
		Rata-Rata	2.30954	2.39696	8.66876	9.08975	2.92825	3.00315	21.42587	22.14029
		Minimal	2.27618	2.39177	8.43303	9.08335	2.89201	3.00219	21.22303	22.09315
		Maximal	2.34916	2.40000	8.96617	9.09961	2.98255	3.00470	21.73229	22.16415
		Std. Deviasi	0.02714	0.00335	0.19608	0.00634	0.03430	0.00099	0.20258	0.02961
5	5	1	2.20013	2.43129	8.07938	9.46276	2.82896	3.05525	20.52076	22.44196
		2	2.16683	2.40719	7.79871	9.12915	2.78091	3.00904	20.15574	22.23871
		3	2.18196	2.42268	7.88754	9.32084	2.79886	3.03587	20.30576	22.37921
		4	2.17651	2.42505	7.94141	9.34718	2.80355	3.03948	20.31414	22.39719
		5	2.18783	2.40745	7.87784	9.14405	2.79488	3.01121	20.35729	22.23969
		Rata-Rata	2.18265	2.41873	7.91698	9.28079	2.80143	3.03017	20.33074	22.33935
		Minimal	2.16683	2.40719	7.79871	9.12915	2.78091	3.00904	20.15574	22.23871
		Maximal	2.20013	2.43129	8.07938	9.46276	2.82896	3.05525	20.52076	22.44196
		Std. Deviasi	0.01246	0.01088	0.10411	0.14214	0.01756	0.01971	0.13070	0.09424
5	7	1	2.19411	2.41211	7.97525	9.15736	2.81276	3.01331	20.47471	22.26636
		2	2.18675	2.43092	7.94295	9.36659	2.80644	3.04261	20.35046	22.43633

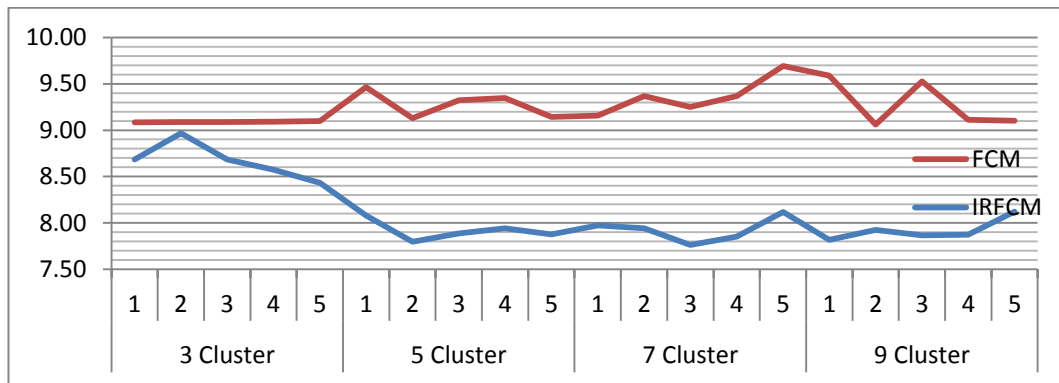
		3	2.15311	2.42015	7.76328	9.25104	2.77239	3.02651	20.06036	22.34295
		4	2.17077	2.42986	7.85453	9.36848	2.79023	3.04273	20.15300	22.42517
		5	2.21619	2.45025	8.11912	9.69001	2.83341	3.08521	20.51013	22.60050
		Rata-Rata	2.18419	2.42866	7.93103	9.36670	2.80305	3.04207	20.30973	22.41426
		Minimal	2.15311	2.41211	7.76328	9.15736	2.77239	3.01331	20.06036	22.26636
		Maximal	2.21619	2.45025	8.11912	9.69001	2.83341	3.08521	20.51013	22.60050
		Std. Deviasi	0.02385	0.01431	0.13367	0.20108	0.02308	0.02707	0.19735	0.12475
5	9	1	2.15003	2.44216	7.82041	9.58866	2.78126	3.07242	19.98073	22.50908
		2	2.18134	2.38773	7.92677	9.06178	2.80562	2.99946	20.26681	22.03515
		3	2.16158	2.44651	7.86545	9.52603	2.78950	3.06393	20.04475	22.56540
		4	2.18837	2.40002	7.87490	9.11308	2.79661	3.00680	20.30525	22.14701
		5	2.18369	2.40198	8.12140	9.10199	2.83496	3.00521	20.37887	22.17148
		Rata-Rata	2.17300	2.41568	7.92179	9.27831	2.80159	3.02956	20.19528	22.28562
		Minimal	2.15003	2.38773	7.82041	9.06178	2.78126	2.99946	19.98073	22.03515
		Maximal	2.18837	2.44651	8.12140	9.58866	2.83496	3.07242	20.37887	22.56540
		Std. Deviasi	0.01642	0.02677	0.11781	0.25640	0.02070	0.03548	0.17292	0.23621

Pada Tabel 4.9 menunjukkan hasil pengukuran MAE, MSE, RMSE dan MAPE dari setiap perulangan pengujian pada skenario 5 *fold* dengan 3, 5, 7 dan 9 *cluster*. Pada pengujian dengan skenario 5 *fold* didapatkan nilai MAE, MSE, RMSE dan MAPE yang lebih kecil menggunakan centroid dari IRFCM dibandingkan menggunakan FCM.

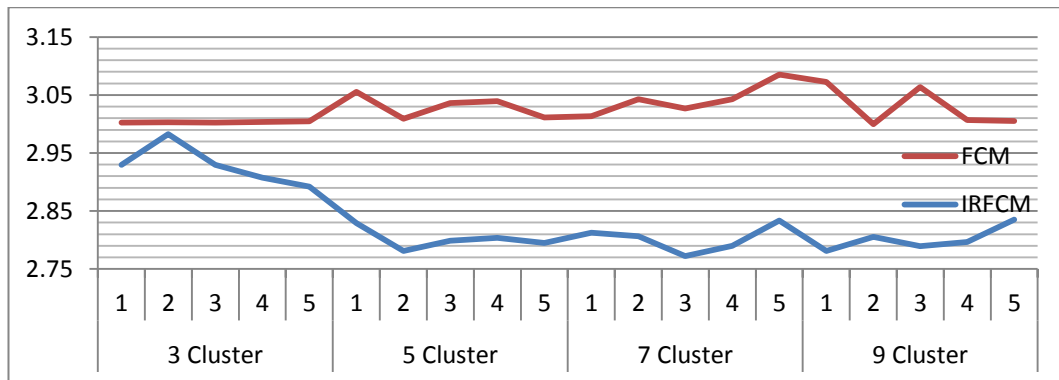
Hasil pengukuran MAE, MSE, RMSE dan MAPE dengan penentuan *centroid* menggunakan metode IRFCM memberikan hasil pengukuran yang lebih baik dibandingkan menggunakan metode FCM. Pada pengujian dengan 5 *fold cross validation* didapatkan performa menggunakan *centroid* IRFCM semakin membaik seiring meningkatnya jumlah *cluster*. Grafik MAE, MSE, RMSE dan MAPE pada setiap perulangan seperti Gambar 4.2.



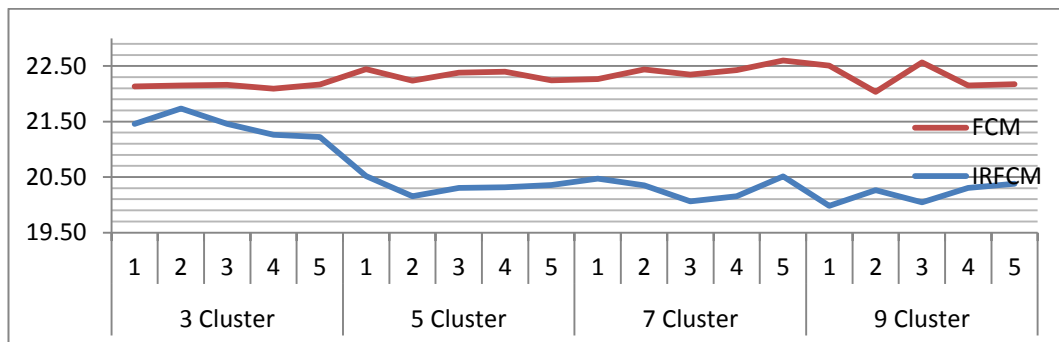
(a)



(b)



(c)



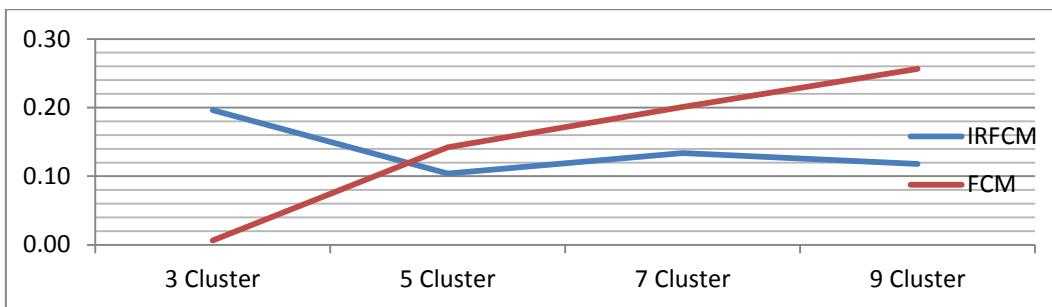
(d)

Gambar 4.2. Hasil Pengukuran dari Pengujian 5 *Fold* dengan Evaluasi :
 (a) MAE, (b) MSE, (c) RMSE, dan (d) MAPE

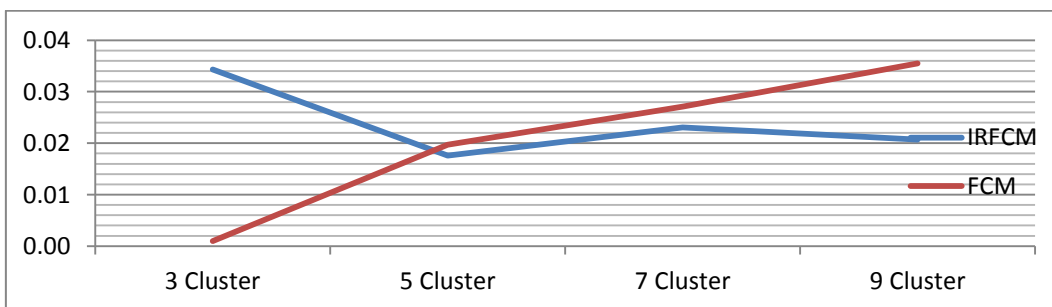
Gambar 4.2 menunjukkan bahwa pada pengujian dengan 5 *fold* didapatkan nilai MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari *centroid* IRFCM yang semakin kecil seiring bertambahnya jumlah *cluster*. Hal ini menunjukkan bahwa nilai perkiraan yang dihasilkan semakin mendekati nilai target. Sedangkan FCM menunjukkan nilai MAE yang semakin tidak stabil seiring bertambahnya jumlah *cluster*. Grafik standar deviasi dari MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari pengujian 5 *fold* seperti Gambar 4.3.



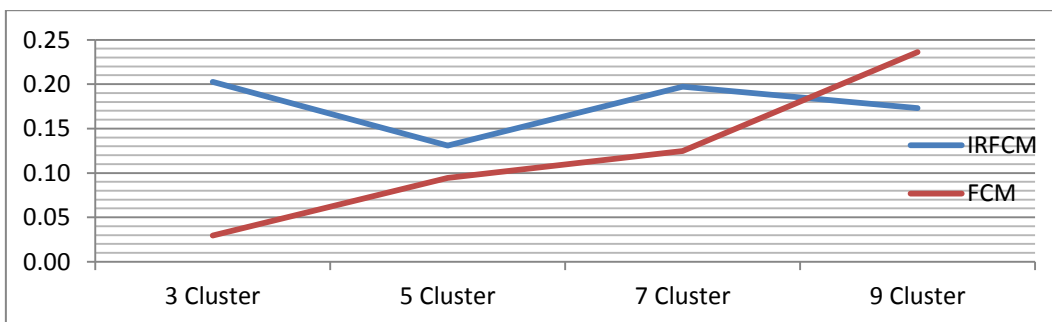
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.3. Standar Deviasi Hasil Pengukuran pada Pengujian 5 Fold dari Evaluasi :

(a) MAE, (b) MSE, (c) RMSE, dan (d) MAPE

Gambar 4.3. menunjukkan standar deviasi nilai MAE, MSE, RMSE dan MAPE dari pengujian dengan 5 fold. Hasil pengukuran standar deviasi menunjukkan IRFCM cukup stabil pada setiap perubahan cluster pengujian.

Sedangkan FCM menunjukkan standar deviasi yang semakin tinggi seiring bertambahnya jumlah *cluster*. Hal ini menunjukkan bahwa performa perkiraan dengan FCM semakin tidak stabil seiring bertambahnya jumlah *cluster*.

4.3.2. Pengujian dengan 7 Fold

Pengujian selanjutnya dilakukan menggunakan *7 fold cross validation* yang berarti komposisi data latih sebesar 85% dan data uji sebesar 15%. Proses pengujian dengan *7 fold* dilakukan 5 kali perulangan menggunakan data latih dan data uji pada tiap *fold* sama, hal ini dilakukan untuk melihat konsistensi hasil perkiraan.

Setiap perulangan dilakukan proses *clustering* pada data latih dalam setiap *fold* untuk mendapatkan *centroid* baru. Sehingga setiap perulangan menggunakan *centroid* yang berbeda. Jumlah *centroid* yang digunakan pada setiap pengujian dirubah mulai 3, 5, 7, hingga 9 *cluster*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan performa perkiraan pada setiap perubahan jumlah *cluster*. Tabel 4.10 menunjukkan performa perkiraan nilai BOD pada masing-masing *fold* dengan 3 *cluster* pada *7 fold* dengan pengukuran performa menggunakan MAE, MSE, RMSE, dan MAPE .

Tabel 4.10. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 3 Cluster pada 7 Fold

Cluster	Perulangan	Fold	MAE		MSE		RMSE		MAPE	
			IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	iRFCM	FCM
3	1	1	2.25229	2.37620	7.66203	8.53113	2.76804	2.92081	23.50376	24.46420
		2	2.20192	2.20384	7.53971	7.48814	2.74585	2.73645	20.15705	20.16285
		3	2.21181	2.35783	8.59325	9.33506	2.93143	3.05533	20.48112	22.11919
		4	2.11286	2.34745	7.09228	8.37505	2.66313	2.89397	17.51763	19.42230
		5	2.66764	2.63763	10.62884	10.72905	3.26019	3.27552	27.31362	26.91799
		6	2.23496	2.32259	8.22115	8.89854	2.86725	2.98304	22.34665	22.97764
		7	2.48055	2.38182	10.77439	10.02942	3.28244	3.16693	19.36934	18.72573
		Rata-Rata	2.30886	2.37534	8.64452	9.05520	2.93119	3.00458	21.52702	22.11284
	2	1	2.25229	2.37654	7.66203	8.53208	2.76804	2.92097	23.50376	24.46753
		2	2.14207	2.20564	7.10518	7.50588	2.66555	2.73969	19.04839	20.18053
		3	2.21181	2.35783	8.59325	9.33506	2.93143	3.05533	20.48112	22.11919
		4	2.11286	2.32102	7.09228	8.19134	2.66313	2.86205	17.51763	19.21774
		5	2.52873	2.62412	9.48619	10.40585	3.07997	3.22581	26.10905	26.62713
		6	2.23496	2.31703	8.22115	8.88333	2.86725	2.98049	22.34665	22.92575
		7	2.48055	2.38182	10.77439	10.02942	3.28244	3.16693	19.36934	18.72573
Rata-Rata		2.28047	2.36914	8.41921	8.98328	2.89397	2.99304	21.19656	22.03766	

3	1	2.25229	2.38295	7.66203	8.55040	2.76804	2.92411	23.50376	24.52918
	2	2.20192	2.22880	7.53971	7.67603	2.74585	2.77057	20.15705	20.42335
	3	2.38482	2.35783	9.82686	9.33506	3.13478	3.05533	22.15996	22.11919
	4	2.11286	2.34629	7.09228	8.36688	2.66313	2.89256	17.51763	19.41298
	5	2.66764	2.62506	10.62884	10.41388	3.26019	3.22706	27.31362	26.64073
	6	2.23496	2.31778	8.22115	8.88111	2.86725	2.98012	22.34665	22.93825
	7	2.48055	2.38182	10.77439	10.02942	3.28244	3.16693	19.36934	18.72573
	Rata-Rata	2.33358	2.37722	8.82075	9.03611	2.96024	3.00238	21.76686	22.11277
4	1	2.25229	2.37209	7.66203	8.51847	2.76804	2.91864	23.50376	24.41750
	2	2.20192	2.20521	7.53971	7.50423	2.74585	2.73939	20.15705	20.17581
	3	2.21181	2.35783	8.59325	9.33506	2.93143	3.05533	20.48112	22.11919
	4	2.03752	2.28728	6.66356	8.02168	2.58139	2.83226	17.13424	18.89850
	5	2.66764	2.61553	10.62884	10.34023	3.26019	3.21562	27.31362	26.50441
	6	2.23496	2.31703	8.22115	8.88327	2.86725	2.98048	22.34665	22.92587
	7	2.48055	2.38182	10.77439	10.02942	3.28244	3.16693	19.36934	18.72573
	Rata-Rata	2.29810	2.36240	8.58328	8.94748	2.91951	2.98695	21.47226	21.96672
5	1	2.25229	2.37818	7.66203	8.53631	2.76804	2.92170	23.50376	24.47734
	2	2.20192	2.21588	7.53971	7.57798	2.74585	2.75281	20.15705	20.28847
	3	2.21181	2.35783	8.59325	9.33506	2.93143	3.05533	20.48112	22.11919
	4	2.11286	2.28703	7.09228	8.02035	2.66313	2.83202	17.51763	18.89512
	5	2.66764	2.62484	10.62884	10.41243	3.26019	3.22683	27.31362	26.63770
	6	2.23496	2.31656	8.22115	8.88077	2.86725	2.98006	22.34665	22.92314
	7	2.48055	2.38182	10.77439	10.02942	3.28244	3.16693	19.36934	18.72573
	Rata-Rata	2.30886	2.36602	8.64452	8.97033	2.93119	2.99081	21.52702	22.00953

Tabel 4.10 menunjukkan performa MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari setiap *fold* dengan 5 kali perulangan pada skenario 3 *cluster* pada 7 *fold*. sehingga didapatkan nilai rata-rata performa MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari setiap perulangan pengujian. Tabel 4.11 menunjukkan performa 5 *cluster* dan 7 *fold*.

Tabel 4.11. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 5 *Cluster* pada 7 *Fold*

Cluster	Perulangan	Fold	MAE		MSE		RMSE		MAPE	
			IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	iRFCM	FCM
5	1	1	2.21420	2.38366	7.17032	8.55229	2.67775	2.92443	23.14047	24.52982
		2	2.13462	2.24168	7.14366	7.89828	2.67276	2.81039	19.30348	20.56798
		3	2.23609	2.35783	8.76724	9.33506	2.96095	3.05533	20.66300	22.11919
		4	2.04463	2.41597	6.49986	8.77965	2.54948	2.96305	17.13515	20.16626
		5	2.60806	2.58048	10.11878	10.21680	3.18100	3.19637	26.84820	26.08361
		6	2.11880	2.33879	7.70289	8.94936	2.77541	2.99155	21.29039	23.13566
		7	2.48895	2.38182	10.86496	10.02942	3.29620	3.16693	19.35288	18.72573
		Rata-Rata	2.26362	2.38575	8.32396	9.10869	2.87337	3.01543	21.10480	22.18975

2	1	2.21420	2.37714	7.17032	8.53155	2.67775	2.92088	23.14047	24.45793
	2	2.13462	2.42218	7.14366	10.88056	2.67276	3.29857	19.30348	22.38092
	3	2.14699	2.35783	8.50930	9.33506	2.91707	3.05533	19.77904	22.11919
	4	2.05907	2.39888	6.74146	8.66764	2.59643	2.94409	17.16428	19.97081
	5	2.57065	2.57963	9.76907	10.22246	3.12555	3.19726	26.54828	26.08677
	6	2.11880	2.34039	7.70289	8.94988	2.77541	2.99164	21.29039	23.15526
	7	2.48895	2.38182	10.86496	10.02942	3.29620	3.16693	19.35288	18.72573
	Rata-Rata	2.24761	2.40827	8.27167	9.51665	2.86588	3.08210	20.93983	22.41380
3	1	2.21420	2.37040	7.17032	8.51241	2.67775	2.91760	23.14047	24.39657
	2	2.11399	2.24862	7.00577	7.96953	2.64684	2.82303	19.11358	20.64005
	3	2.18898	2.35783	8.78037	9.33506	2.96317	3.05533	20.09000	22.11919
	4	2.06998	2.38104	6.77892	8.59125	2.60364	2.93108	17.26933	19.73342
	5	2.45313	2.57538	9.29092	10.22002	3.04810	3.19688	25.42093	26.05207
	6	2.18872	2.33010	7.88713	8.92321	2.80840	2.98717	22.01311	23.03929
	7	2.50790	2.38182	10.90761	10.02942	3.30267	3.16693	19.40184	18.72573
	Rata-Rata	2.24813	2.37788	8.26015	9.08298	2.86437	3.01115	20.92132	22.10090
4	1	2.20585	2.37975	7.17429	8.54080	2.67849	2.92246	23.12068	24.49103
	2	2.13462	2.25086	7.14366	8.00214	2.67276	2.82880	19.30348	20.66125
	3	2.36323	2.35783	9.07208	9.33506	3.01199	3.05533	22.07709	22.11919
	4	2.04463	2.37130	6.49986	8.52933	2.54948	2.92050	17.13515	19.61975
	5	2.62597	2.57845	9.97972	10.24622	3.15907	3.20097	26.91883	26.10689
	6	2.18872	2.33898	7.88713	8.95029	2.80840	2.99170	22.01311	23.13822
	7	2.48895	2.38182	10.86496	10.02942	3.29620	3.16693	19.35288	18.72573
	Rata-Rata	2.29314	2.37986	8.37453	9.09047	2.88234	3.01239	21.41732	22.12315
5	1	2.10371	2.37807	6.74126	8.53551	2.59639	2.92156	22.05386	24.47398
	2	2.11399	2.23688	7.00577	7.84613	2.64684	2.80109	19.11358	20.51909
	3	2.18811	2.35783	8.71993	9.33506	2.95295	3.05533	20.05980	22.11919
	4	2.10289	2.37838	6.88213	8.52731	2.62338	2.92016	17.37782	19.70055
	5	2.60806	2.63763	10.11878	10.72905	3.18100	3.27552	26.84820	26.91799
	6	2.12222	2.33701	7.52855	8.93941	2.74382	2.98989	21.45650	23.11806
	7	2.50127	2.38182	10.87104	10.02942	3.29713	3.16693	19.37784	18.72573
	Rata-Rata	2.24861	2.38680	8.26678	9.13455	2.86307	3.01864	20.89823	22.22494

Tabel 4.11 menunjukkan performa MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari pengujian dengan skenario 5 cluster dan 7 fold sebanyak 5 kali perulangan sehingga didapatkan nilai rata-rata performa MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari setiap perulangan. Tabel 4.12 menunjukkan performa perkiraan nilai BOD dengan skenario 7 cluster pada 7 fold.

Tabel 4.12. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 7 Cluster pada 7 Fold

Cluster	Perulangan	Fold	MAE		MSE		RMSE		MAPE	
			IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	iRFCM	FCM
7	1	1	2.18360	2.39446	7.03956	8.59082	2.65322	2.93101	22.76254	24.63117
		2	2.10916	2.61388	7.05033	16.35970	2.65525	4.04471	19.05282	24.27701
		3	2.14097	2.35783	8.04578	9.33506	2.83651	3.05533	19.75999	22.11919
		4	2.07477	2.38791	6.64649	8.72053	2.57808	2.95306	17.37679	19.72990
		5	2.50802	2.66546	9.01432	10.53531	3.00239	3.24581	25.94438	27.01729
		6	2.07468	2.31973	7.44361	8.89453	2.72830	2.98237	20.90016	22.93165
		7	2.46307	2.38182	11.07142	10.02942	3.32737	3.16693	18.96963	18.72573
		Rata-Rata	2.22204	2.44587	8.04450	10.35220	2.82587	3.19703	20.68090	22.77599
	2	1	1.94947	2.40313	5.68389	8.62218	2.38409	2.93635	20.77096	24.70972
		2	2.13343	2.21226	7.22265	7.62585	2.68750	2.76149	19.17248	20.28438
		3	2.21280	2.35783	8.42853	9.33506	2.90319	3.05533	20.60537	22.11919
		4	2.07428	2.54412	6.61352	10.05733	2.57168	3.17133	17.32367	21.17796
		5	2.60922	2.56149	10.04177	10.15159	3.16888	3.18616	26.81369	25.60109
		6	2.07379	2.31947	7.18076	8.89390	2.67969	2.98226	20.95592	22.92830
		7	2.44025	2.38182	10.85049	10.02942	3.29401	3.16693	18.92795	18.72573
		Rata-Rata	2.21332	2.39716	8.00309	9.24505	2.81272	3.03712	20.65287	22.22091
	3	1	2.06426	2.39353	6.48826	8.58640	2.54721	2.93026	21.56221	24.61263
		2	2.11901	2.24340	7.04581	7.96741	2.65439	2.82266	19.09870	20.58644
		3	2.20642	2.35783	8.27665	9.33506	2.87692	3.05533	20.38746	22.11919
		4	2.07428	2.47015	6.61352	9.42141	2.57168	3.06943	17.32367	20.55115
		5	2.59601	2.60651	9.99561	10.25418	3.16158	3.20222	26.65674	26.18565
		6	2.03598	2.34995	7.08666	8.97208	2.66208	2.99534	20.49110	23.24598
		7	2.45298	2.38182	10.95254	10.02942	3.30946	3.16693	18.91388	18.72573
		Rata-Rata	2.22128	2.40046	8.06558	9.22371	2.82619	3.03459	20.63339	22.28954
	4	1	2.18360	2.39732	7.03956	8.60014	2.65322	2.93260	22.76254	24.64787
		2	2.10916	2.20817	7.05033	7.60329	2.65525	2.75741	19.05282	20.22083
		3	2.20642	2.35783	8.27665	9.33506	2.87692	3.05533	20.38746	22.11919
		4	2.06985	2.44413	6.59246	9.92698	2.56758	3.15071	17.33826	20.40343
		5	2.59601	2.64768	9.99561	10.66541	3.16158	3.26579	26.65674	26.98476
		6	1.88760	2.33383	6.98006	8.92942	2.64198	2.98821	19.13671	23.07782
		7	2.43590	2.38182	10.71177	10.02942	3.27288	3.16693	18.94001	18.72573
		Rata-Rata	2.21265	2.39583	8.09235	9.29853	2.83277	3.04528	20.61065	22.31138
5	1	2.14851	2.36192	6.93871	8.48630	2.63414	2.91313	22.41761	24.30670	
	2	2.13343	2.19558	7.22265	7.48207	2.68750	2.73534	19.17248	20.11562	
	3	2.17835	2.35783	8.18598	9.33506	2.86112	3.05533	20.17274	22.11919	
	4	1.99164	2.47699	6.35514	9.60284	2.52094	3.09884	16.76402	20.59986	
	5	2.59601	2.62779	9.99561	10.41733	3.16158	3.22759	26.65674	26.64511	
	6	2.08758	2.34067	7.52073	8.94683	2.74240	2.99112	20.98513	23.15476	
	7	2.44025	2.38182	10.85049	10.02942	3.29401	3.16693	18.92795	18.72573	
	Rata-Rata	2.22511	2.39180	8.15276	9.18569	2.84310	3.02690	20.72810	22.23814	

Pada Tabel 4.12 menunjukkan performa MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari pengujian dengan skenario 7 cluster dan 7 fold. Pengujian dengan skenario ini dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali sehingga didapatkan nilai rata-rata performa MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari setiap perulangan pengujian. Tabel 4.13 menunjukkan performa perkiraan nilai BOD dengan 9 cluster pada 7 fold.

Tabel 4.13. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 9 Cluster pada 7 Fold

Cluster	Perulangan	Fold	MAE		MSE		RMSE		MAPE	
			IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	iRFCM	FCM
9	1	1	2.03778	2.39978	6.36286	8.60988	2.52247	2.93426	21.26802	24.68638
		2	2.05432	2.18763	6.80154	7.44231	2.60798	2.72806	18.71070	19.97379
		3	2.17386	2.35783	8.40593	9.33506	2.89930	3.05533	20.17890	22.11919
		4	1.97486	3.21023	6.18575	26.40444	2.48712	5.13852	16.53622	27.27699
		5	2.50748	2.55870	8.98778	10.14242	2.99796	3.18472	26.03323	25.57238
		6	2.05644	2.33040	7.47629	8.92095	2.73428	2.98680	20.67743	23.04418
		7	2.38944	2.38182	10.21582	10.02942	3.19622	3.16693	18.50286	18.72573
		Rata-Rata	2.17060	2.48948	7.77657	11.55492	2.77790	3.31352	20.27248	23.05695
	2	1	2.03778	2.39193	6.36286	8.58210	2.52247	2.92952	21.26802	24.60801
		2	2.12389	2.25786	7.24688	8.08025	2.69200	2.84258	19.18523	20.73675
		3	2.00202	2.35783	7.88802	9.33506	2.80856	3.05533	17.88941	22.11919
		4	1.90870	2.38465	6.04910	8.59188	2.45949	2.93119	16.04824	19.70329
		5	2.44209	2.57234	8.80211	10.15635	2.96684	3.18690	24.96129	25.77682
		6	2.05644	2.35339	7.47629	8.97951	2.73428	2.99658	20.67743	23.28001
		7	2.41308	2.38182	10.46439	10.02942	3.23487	3.16693	18.60903	18.72573
		Rata-Rata	2.14057	2.38569	7.75566	9.10780	2.77407	3.01558	19.80552	22.13569
	3	1	1.89005	2.36786	5.59399	8.50991	2.36516	2.91718	20.18597	24.38666
		2	2.06465	2.24294	6.78493	7.92388	2.60479	2.81494	18.74885	20.59068
		3	2.00553	2.35783	7.85297	9.33506	2.80232	3.05533	17.95360	22.11919
		4	1.92979	2.52682	6.13390	10.08044	2.47667	3.17497	16.26575	21.03371
		5	2.52585	2.62491	9.04934	10.59588	3.00821	3.25513	25.90025	26.75682
		6	2.08970	2.35890	7.90110	8.99801	2.81089	2.99967	21.07585	23.33075
		7	2.43801	2.38182	10.96054	10.02942	3.31067	3.16693	18.78105	18.72573
		Rata-Rata	2.13479	2.40873	7.75382	9.35323	2.76839	3.05488	19.84447	22.42051
	4	1	2.02496	2.39562	6.31451	8.59507	2.51287	2.93173	21.17448	24.64519
		2	2.05655	2.23542	6.80246	7.81865	2.60815	2.79618	18.68631	20.51095
		3	2.33130	2.35783	9.33824	9.33506	3.05585	3.05533	21.76825	22.11919
		4	1.94610	2.97297	6.18600	19.76915	2.48717	4.44625	16.26533	25.16848
5		2.48893	2.68581	8.92128	10.85640	2.98685	3.29490	25.87178	27.43843	
6		2.00198	2.35821	7.61379	8.99864	2.75931	2.99977	20.30665	23.31844	
7		2.38916	2.38182	10.42814	10.02942	3.22926	3.16693	18.45606	18.72573	
Rata-Rata		2.17700	2.48395	7.94349	10.77177	2.80564	3.24159	20.36127	23.13234	

5	1	1.95388	2.40171	5.80869	8.61656	2.41012	2.93540	20.61354	24.69372
	2	2.05274	2.16144	6.80707	7.26068	2.60904	2.69456	18.52611	19.69245
	3	2.26704	2.35783	9.12112	9.33506	3.02012	3.05533	21.32221	22.11919
	4	1.97416	2.55388	6.25648	11.08552	2.50130	3.32949	16.72376	21.34773
	5	2.49158	2.62435	8.92738	10.39296	2.98787	3.22381	25.87221	26.58647
	6	2.07358	2.31951	7.45740	8.89397	2.73082	2.98228	20.86126	22.92850
	7	2.38281	2.38182	10.26335	10.02942	3.20365	3.16693	18.49566	18.72573
	Rata-Rata	2.17083	2.40008	7.80593	9.37345	2.78042	3.05540	20.34496	22.29911

Pada Tabel 4.13 menunjukkan performa MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari 5 kali perulangan pengujian dengan skenario 9 *cluster* dan 7 *fold* sehingga didapatkan nilai rata-rata performa MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari setiap perulangan pengujian. Berdasarkan hasil pengujian dengan 7 *fold cross validation* yang dilakukan diambil rata-rata nilai MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari setiap perulangan. Sehingga dari setiap skenario perubahan jumlah *cluster* didapatkan 5 nilai MAE, MSE, dan RMSE. Kemudian nilai MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dihitung rata-rata, nilai minimal, nilai maksimal dan standar deviasi dari masing-masing skenario perubahan jumlah *cluster* seperti Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Performa Perkiraan Nilai BOD pada 7 *Fold*

Fold	Cluster	Perulangan	MAE		MSE		RMSE		MAPE	
			IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM
7	3	1	2.30886	2.37534	8.64452	9.05520	2.93119	3.00458	21.52702	22.11284
		2	2.28047	2.36914	8.41921	8.98328	2.89397	2.99304	21.19656	22.03766
		3	2.33358	2.37722	8.82075	9.03611	2.96024	3.00238	21.76686	22.11277
		4	2.29810	2.36240	8.58328	8.94748	2.91951	2.98695	21.47226	21.96672
		5	2.30886	2.36602	8.64452	8.97033	2.93119	2.99081	21.52702	22.00953
		Rata-Rata	2.30597	2.37002	8.62246	8.99848	2.92722	2.99555	21.49795	22.04790
		Minimal	2.28047	2.36240	8.41921	8.94748	2.89397	2.98695	21.19656	21.96672
		Maximal	2.33358	2.37722	8.82075	9.05520	2.96024	3.00458	21.76686	22.11284
		Std. Deviasi	0.01931	0.00622	0.14417	0.04544	0.02391	0.00760	0.20341	0.06441
7	5	1	2.26362	2.38575	8.32396	9.10869	2.87337	3.01543	21.10480	22.18975
		2	2.24761	2.40827	8.27167	9.51665	2.86588	3.08210	20.93983	22.41380
		3	2.24813	2.37788	8.26015	9.08298	2.86437	3.01115	20.92132	22.10090
		4	2.29314	2.37986	8.37453	9.09047	2.88234	3.01239	21.41732	22.12315
		5	2.24861	2.38680	8.26678	9.13455	2.86307	3.01864	20.89823	22.22494
		Rata-Rata	2.26022	2.38771	8.29942	9.18667	2.86981	3.02794	21.05630	22.21051
		Minimal	2.24761	2.37788	8.26015	9.08298	2.86307	3.01115	20.89823	22.10090
		Maximal	2.29314	2.40827	8.37453	9.51665	2.88234	3.08210	21.41732	22.41380
		Std. Deviasi	0.01959	0.01210	0.04905	0.18553	0.00806	0.03041	0.21763	0.12411

7	7	1	2.22204	2.44587	8.04450	10.35220	2.82587	3.19703	20.68090	22.77599
		2	2.21332	2.39716	8.00309	9.24505	2.81272	3.03712	20.65287	22.22091
		3	2.22128	2.40046	8.06558	9.22371	2.82619	3.03459	20.63339	22.28954
		4	2.21265	2.39583	8.09235	9.29853	2.83277	3.04528	20.61065	22.31138
		5	2.22511	2.39180	8.15276	9.18569	2.84310	3.02690	20.72810	22.23814
		Rata-Rata	2.21888	2.40622	8.07165	9.46104	2.82813	3.06819	20.66118	22.36719
		Minimal	2.21265	2.39180	8.00309	9.18569	2.81272	3.02690	20.61065	22.22091
		Maximal	2.22511	2.44587	8.15276	10.35220	2.84310	3.19703	20.72810	22.77599
		Std. Deviasi	0.00557	0.02238	0.05586	0.49984	0.01109	0.07233	0.04545	0.23147
7	9	1	2.17060	2.48948	7.77657	11.55492	2.77790	3.31352	20.27248	23.05695
		2	2.14057	2.38569	7.75566	9.10780	2.77407	3.01558	19.80552	22.13569
		3	2.13479	2.40873	7.75382	9.35323	2.76839	3.05488	19.84447	22.42051
		4	2.17700	2.48395	7.94349	10.77177	2.80564	3.24159	20.36127	23.13234
		5	2.17083	2.40008	7.80593	9.37345	2.78042	3.05540	20.34496	22.29911
		Rata-Rata	2.15876	2.43359	7.80709	10.03223	2.78128	3.13619	20.12574	22.60892
		Minimal	2.13479	2.38569	7.75382	9.10780	2.76839	3.01558	19.80552	22.13569
		Maximal	2.17700	2.48948	7.94349	11.55492	2.80564	3.31352	20.36127	23.13234
		Std. Deviasi	0.01952	0.04924	0.07909	1.07414	0.01435	0.13251	0.27691	0.45556

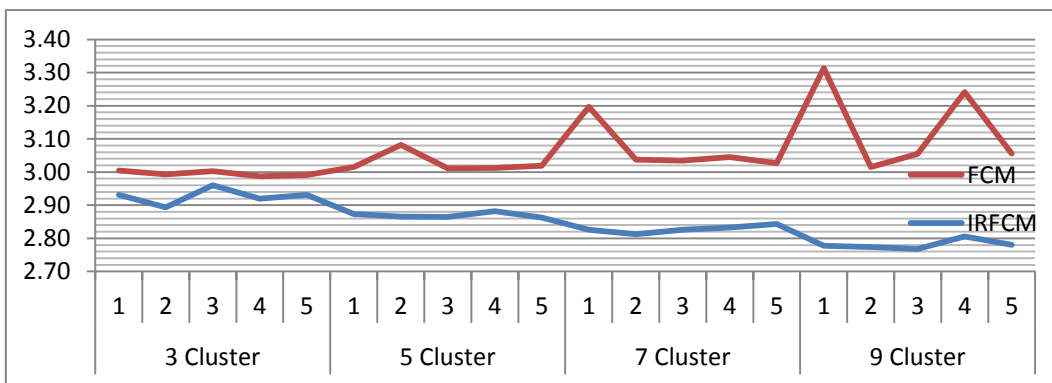
Tabel 4.14 menunjukkan hasil pengujian dengan *7 fold cross validation* yang menunjukkan bahwa penentuan *centroid* menggunakan metode IRFCM menghasilkan nilai MAE, MSE, RMSE, dan MAPE yang lebih kecil dibandingkan menggunakan metode FCM. Standar deviasi yang dihasilkan metode IRFCM menunjukkan hasil pengukuran yang stabil pada setiap perubahan jumlah *cluster*. sedangkan standar deviasi yang dihasilkan dari FCM menunjukkan peningkatan seiring peningkatan jumlah *cluster*. Grafik hasil pengukuran MAE MSE, RMSE, dan MAPE pada setiap perulangan seperti Gambar 4.4.



(a)



(b)



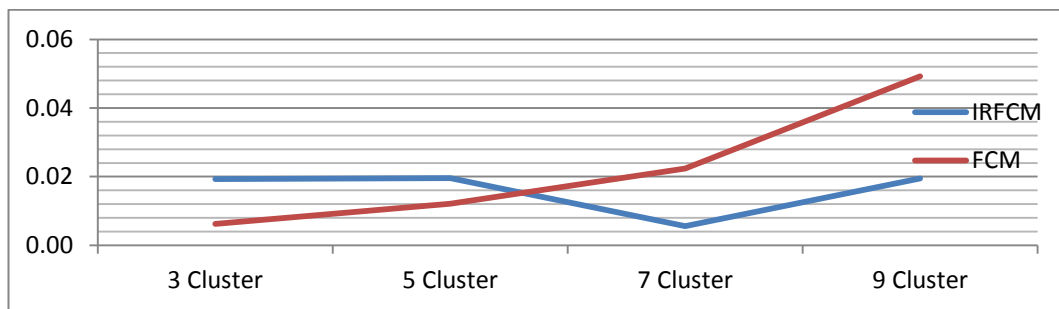
(c)



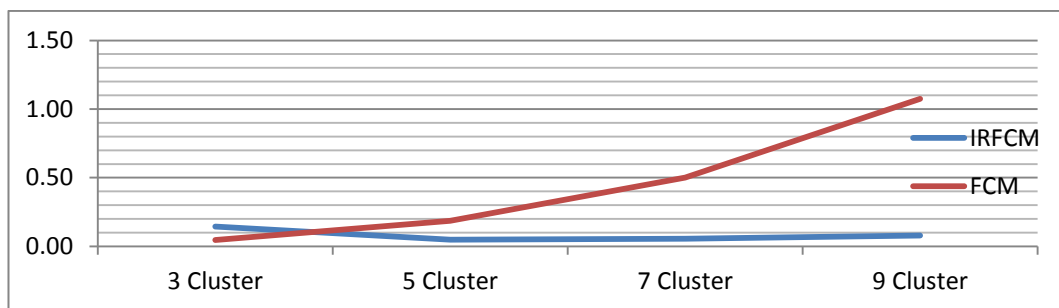
(d)

Gambar 4.4. Hasil Pengukuran dari Pengujian 7 Fold dengan Evaluasi :
 (a) MAE, (b) MSE, (c) RMSE, dan (d) MAPE

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pada pengujian dengan 7 fold didapatkan performa MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari *centroid* IRFCM yang semakin kecil seiring bertambahnya jumlah *cluster*. Hal ini menunjukkan bahwa nilai perkiraan yang dihasilkan semakin mendekati nilai target. Sedangkan FCM menunjukkan MAE, MSE, RMSE, dan MAPE yang semakin tidak stabil seiring bertambahnya jumlah *cluster*. Standar deviasi dari pengukuran MAE, MSE, RMSE, dan MAPE ditunjukkan pada Gambar 4.5.



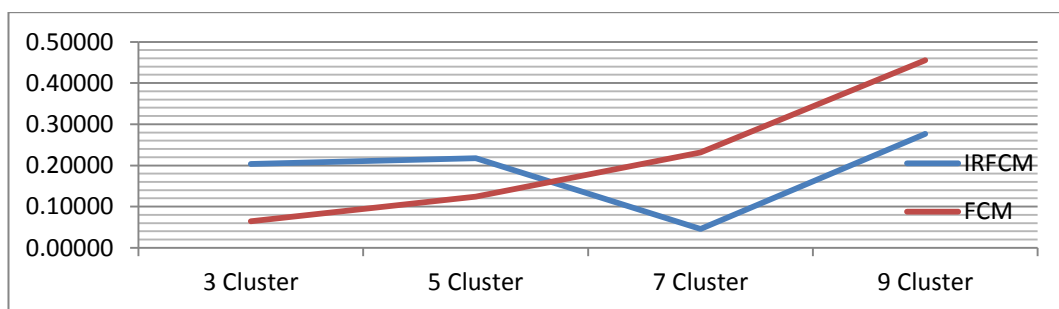
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.5. Standar Deviasi Hasil Pengukuran pada Pengujian 7 Fold dari Evaluasi :

(a) MAE, (b) MSE, (c) RMSE, dan (d) MAPE

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat standar deviasi dari pengujian dengan 7 fold menggunakan IRFCM menunjukkan performa yang cukup stabil pada setiap perubahan jumlah cluster. Sedangkan pengujian dengan FCM menunjukkan standar deviasi semakin meningkat seiring meningkatnya jumlah cluster. hal ini

sejalan dengan MAE, MSE, RMSE, dan MAPE yang semakin tidak stabil seiring meningkatnya jumlah *cluster*.

4.3.3. Pengujian dengan 10 Fold

Pengujian selanjutnya dilakukan menggunakan 10 *fold cross validation* yang berarti komposisi data latih sebesar 90% dan data uji sebesar 10%. Proses pengujian pada 10 *fold* dilakukan 5 kali perulangan menggunakan data latih dan data uji pada tiap *fold* sama. Hal ini dilakukan untuk mengetahui konsistensi hasil perkiraan. Jumlah *centroid* yang digunakan pada setiap pengujian juga dilakukan perubahan mulai 3, 5, 7, hingga 9 *cluster*. Setiap perulangan dilakukan proses *clustering* untuk mendapatkan *centroid* baru. Hal ini bertujuan agar dapat melihat perubahan hasil perkiraan menggunakan *centroid* yang berbeda. Tabel 4.15 menunjukkan performa perkiraan nilai BOD dengan 3 *cluster* pada 10 *fold*.

Tabel 4.15. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 3 Cluster pada 10 Fold

Cluster	Perulangan	Fold	MAE		MSE		RMSE		MAPE	
			IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	iRFCM	FCM
3	1	1	2.35745	2.41486	7.59831	7.98430	2.75650	2.82565	25.68107	26.02091
		2	2.14614	2.17542	7.19680	8.10332	2.68269	2.84663	20.28495	19.46544
		3	2.00700	2.12364	6.59135	6.92099	2.56736	2.63078	18.02911	19.32784
		4	2.55157	2.83387	10.82724	11.92648	3.29048	3.45347	22.87737	25.66861
		5	2.25575	2.28153	8.63317	8.79469	2.93823	2.96558	19.59192	19.95412
		6	1.91634	1.97135	5.80779	6.04253	2.40994	2.45816	16.74165	16.19108
		7	2.59769	2.55792	9.76503	9.97536	3.12490	3.15838	27.46505	27.18201
		8	2.22489	2.32257	8.31147	8.83121	2.88296	2.97174	26.48827	27.40892
		9	2.50700	2.57974	10.32822	10.87762	3.21375	3.29812	19.37891	19.60966
		10	2.41065	2.24970	9.76000	8.90129	3.12410	2.98350	19.29169	18.04593
	Rata-Rata	2.29745	2.35106	8.48194	8.83578	2.89909	2.95920	21.58300	21.88745	
	2	1	2.35745	2.41526	7.59831	7.98626	2.75650	2.82600	25.68107	26.02561
		2	2.14614	2.17534	7.19680	8.10292	2.68269	2.84656	20.28495	19.46539
		3	2.00700	2.12364	6.59135	6.92099	2.56736	2.63078	18.02911	19.32784
		4	2.55157	2.81065	10.82724	11.83635	3.29048	3.44040	22.87737	25.46389
		5	2.25575	2.28187	8.63317	8.79481	2.93823	2.96561	19.59192	19.95678
		6	1.91634	2.03621	5.80779	6.27137	2.40994	2.50427	16.74165	16.88598
		7	2.59769	2.56464	9.76503	10.01719	3.12490	3.16500	27.46505	27.30430
		8	2.46401	2.32314	10.01752	8.83735	3.16505	2.97277	28.63233	27.42111
		9	2.50700	2.57698	10.32822	10.84288	3.21375	3.29285	19.37891	19.62149
10		2.41065	2.24970	9.76000	8.90129	3.12410	2.98350	19.29169	18.04593	
Rata-Rata	2.32136	2.35574	8.65254	8.85114	2.92730	2.96277	21.79740	21.95183		

3	1	2.35745	2.41920	7.59831	8.00567	2.75650	2.82943	25.68107	26.07241
	2	2.14614	2.17511	7.19680	8.10217	2.68269	2.84643	20.28495	19.46668
	3	2.00700	2.12364	6.59135	6.92099	2.56736	2.63078	18.02911	19.32784
	4	2.55157	2.90589	10.82724	12.35995	3.29048	3.51567	22.87737	26.30979
	5	2.25575	2.28947	8.63317	8.79944	2.93823	2.96639	19.59192	20.01490
	6	1.79634	2.03396	5.10328	6.26129	2.25904	2.50226	15.94219	16.86118
	7	2.59769	2.56377	9.76503	10.01455	3.12490	3.16458	27.46505	27.29291
	8	2.46401	2.32984	10.01752	8.84448	3.16505	2.97397	28.63233	27.47688
	9	2.50700	2.57705	10.32822	10.84352	3.21375	3.29295	19.37891	19.62151
	10	2.41065	2.24970	9.76000	8.90129	3.12410	2.98350	19.29169	18.04593
	Rata-Rata	2.30936	2.36676	8.58209	8.90533	2.91221	2.97059	21.71746	22.04900
4	1	2.35745	2.41492	7.59831	7.98459	2.75650	2.82570	25.68107	26.02154
	2	2.14614	2.17555	7.19680	8.10877	2.68269	2.84759	20.28495	19.48108
	3	2.00700	2.12364	6.59135	6.92099	2.56736	2.63078	18.02911	19.32784
	4	2.36446	2.82129	9.72452	11.87473	3.11842	3.44597	20.81584	25.55757
	5	2.25575	2.29038	8.63317	8.80044	2.93823	2.96655	19.59192	20.02083
	6	1.91634	1.99878	5.80779	6.12396	2.40994	2.47466	16.74165	16.49609
	7	2.59769	2.56658	9.76503	10.02314	3.12490	3.16593	27.46505	27.32974
	8	2.22489	2.32309	8.31147	8.81969	2.88296	2.96980	26.48827	27.40263
	9	2.50700	2.57974	10.32822	10.87762	3.21375	3.29812	19.37891	19.60966
	10	2.41065	2.24970	9.76000	8.90129	3.12410	2.98350	19.29169	18.04593
	Rata-Rata	2.27874	2.35437	8.37166	8.84352	2.88188	2.96086	21.37685	21.92929
5	1	2.35745	2.41797	7.59831	7.99965	2.75650	2.82837	25.68107	26.05778
	2	2.14614	2.19274	7.19680	8.26073	2.68269	2.87415	20.28495	19.68459
	3	2.00700	2.12364	6.59135	6.92099	2.56736	2.63078	18.02911	19.32784
	4	2.55157	2.86767	10.82724	12.10072	3.29048	3.47861	22.87737	25.96838
	5	2.25575	2.29082	8.63317	8.80349	2.93823	2.96707	19.59192	20.01443
	6	1.91634	2.02764	5.80779	6.23439	2.40994	2.49688	16.74165	16.79667
	7	2.59769	2.56690	9.76503	10.02682	3.12490	3.16651	27.46505	27.33801
	8	2.22489	2.32324	8.31147	8.83747	2.88296	2.97279	26.48827	27.42200
	9	2.50700	2.57920	10.32822	10.87050	3.21375	3.29704	19.37891	19.61246
	10	2.41065	2.24970	9.76000	8.90129	3.12410	2.98350	19.29169	18.04593
	Rata-Rata	2.29745	2.36395	8.48194	8.89560	2.89909	2.96957	21.58300	22.02681

Tabel 4.15 menunjukkan MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari pengujian setiap *fold* dengan skenario 3 *cluster* pada 10 *fold* sebanyak 5 kali perulangan pengujian sehingga didapatkan nilai rata-rata performa MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari setiap perulangan pengujian. Tabel 4.16 menunjukkan performa perkiraan nilai BOD dengan 5 *cluster* pada 10 *fold*.

Tabel 4.16. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 5 Cluster pada 10 Fold

Cluster	Perulangan	Fold	MAE		MSE		RMSE		MAPE	
			IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	iRFCM	FCM
5	1	1	2.11307	2.41108	6.68626	7.96559	2.58578	2.82234	23.16334	25.97602
		2	2.16387	2.18298	7.25473	8.18114	2.69346	2.86027	20.35353	19.57594
		3	1.97680	2.12364	6.44400	6.92099	2.53850	2.63078	17.64026	19.32784
		4	2.33920	2.95659	9.30889	12.99372	3.05105	3.60468	20.65472	26.82282
		5	2.36320	2.56523	8.73804	10.73767	2.95602	3.27684	20.84514	22.32036
		6	1.78708	2.06657	5.07429	6.62166	2.25262	2.57326	15.83265	16.74341
		7	2.57582	2.56841	9.36153	10.03548	3.05966	3.16788	27.42814	27.36375
		8	2.14936	2.33485	7.91769	8.85772	2.81384	2.97619	25.62965	27.52825
		9	2.53695	2.57974	10.61301	10.87762	3.25776	3.29812	19.55587	19.60966
		10	2.41117	2.24970	9.52014	8.90129	3.08547	2.98350	19.24972	18.04593
		Rata-Rata	2.24165	2.40388	8.09186	9.20929	2.82942	3.01939	21.03530	22.33140
	2	1	2.06068	2.41467	6.35884	7.98336	2.52167	2.82548	22.65381	26.01862
		2	2.07835	2.19517	6.80936	8.29028	2.60948	2.87928	19.60460	19.74497
		3	1.97680	2.12364	6.44400	6.92099	2.53850	2.63078	17.64026	19.32784
		4	2.41567	2.78848	10.32338	11.76746	3.21300	3.43037	20.65471	25.29428
		5	2.25096	2.28339	8.21949	8.80191	2.86697	2.96680	19.66825	19.95038
		6	2.09072	2.18621	6.92751	7.10410	2.63202	2.66535	17.98160	18.24000
		7	2.54646	2.55875	9.27034	9.98505	3.04472	3.15991	27.03913	27.20445
		8	2.14936	2.33904	7.91769	8.86059	2.81384	2.97667	25.62965	27.55926
		9	2.53695	2.57974	10.61301	10.87762	3.25776	3.29812	19.55587	19.60966
		10	2.41117	2.24970	9.52014	8.90129	3.08547	2.98350	19.24972	18.04593
		Rata-Rata	2.25171	2.37188	8.24038	8.94927	2.85834	2.98163	20.96776	22.09954
	3	1	2.06715	2.41776	6.45677	7.99867	2.54102	2.82819	22.69335	26.05526
		2	2.16387	2.18546	7.25473	8.20496	2.69346	2.86443	20.35353	19.61508
		3	1.97680	2.12364	6.44400	6.92099	2.53850	2.63078	17.64026	19.32784
		4	2.35859	2.98213	9.36721	13.24123	3.06059	3.63885	20.86057	27.00207
		5	2.17677	2.35986	8.20303	9.00041	2.86409	3.00007	19.37604	20.60831
		6	1.95004	2.06874	5.79551	6.61877	2.40739	2.57270	16.98629	16.72961
		7	2.57582	2.57128	9.36153	10.05030	3.05966	3.17022	27.42814	27.41002
		8	2.14936	2.33570	7.91769	8.86023	2.81384	2.97661	25.62965	27.53634
		9	2.53695	2.57974	10.61301	10.87762	3.25776	3.29812	19.55587	19.60966
		10	2.39438	2.24970	9.42212	8.90129	3.06955	2.98350	19.16481	18.04593
		Rata-Rata	2.23497	2.38740	8.08356	9.06745	2.83059	2.99635	20.96885	22.19401
	4	1	2.11307	2.41437	6.68626	7.98190	2.58578	2.82523	23.16334	26.01504
		2	2.07835	2.17372	6.80936	8.10757	2.60948	2.84738	19.60460	19.45320
		3	1.97680	2.12364	6.44400	6.92099	2.53850	2.63078	17.64026	19.32784
4		2.35859	2.77407	9.36721	11.73244	3.06059	3.42526	20.86057	25.16025	
5		2.17677	2.50699	8.20303	9.99492	2.86409	3.16147	19.37604	21.84608	
6		1.81808	2.05170	5.10795	6.47518	2.26008	2.54464	16.10247	16.65892	

		7	2.58705	2.57157	9.25588	10.04851	3.04235	3.16994	27.24438	27.40980
		8	2.14936	2.34132	7.91769	8.86611	2.81384	2.97760	25.62965	27.57661
		9	2.29997	2.57974	9.85474	10.87762	3.13923	3.29812	17.71482	19.60966
		10	2.41117	2.24970	9.52014	8.90129	3.08547	2.98350	19.24972	18.04593
		Rata-Rata	2.19692	2.37868	7.91663	8.99065	2.79994	2.98639	20.65859	22.11033
	5	1	2.29983	2.41603	7.15979	7.99003	2.67578	2.82666	25.12625	26.03476
		2	2.16387	2.18938	7.25473	8.23767	2.69346	2.87013	20.35353	19.66257
		3	1.97680	2.12364	6.44400	6.92099	2.53850	2.63078	17.64026	19.32784
		4	2.45670	2.76398	10.12787	11.73788	3.18243	3.42606	21.60423	24.98549
		5	2.36320	2.29168	8.73804	8.79091	2.95602	2.96495	20.84514	20.03781
		6	1.82542	2.03827	5.39394	6.43710	2.32249	2.53714	16.18742	16.51060
		7	2.57582	2.56216	9.36153	10.00908	3.05966	3.16371	27.42814	27.27084
		8	2.19701	2.34052	8.13824	8.86455	2.85276	2.97734	25.80585	27.57221
		9	2.31191	2.57974	9.88814	10.87762	3.14454	3.29812	17.82216	19.60966
		10	2.41117	2.24970	9.52014	8.90129	3.08547	2.98350	19.24972	18.04593
		Rata-Rata	2.25817	2.35551	8.20264	8.87671	2.85111	2.96784	21.20627	21.90577

Tabel 4.16 menunjukkan performa MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari pengujian dengan skenario 5 cluster dan 10 fold sebanyak 5 kali perulangan sehingga didapatkan nilai rata-rata performa MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari setiap perulangan pengujian. Tabel 4.17 menunjukkan performa perkiraan nilai BOD dengan 7 cluster pada 10 fold.

Tabel 4.17. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 7 Cluster pada 10 Fold

Cluster	Perulangan	Fold	MAE		MSE		RMSE		MAPE		
			IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	iRFCM	FCM	
7	1	1	1.97679	2.40681	5.53505	7.94455	2.35267	2.81861	21.22781	25.92542	
		2	2.11514	2.16059	7.11975	8.14089	2.66829	2.85322	19.57678	19.18156	
		3	1.96340	2.12364	6.42546	6.92099	2.53485	2.63078	17.52559	19.32784	
		4	2.38407	2.76398	9.37216	11.73788	3.06140	3.42606	21.12420	24.98549	
		5	2.13281	2.28481	7.69106	8.81116	2.77328	2.96836	18.64025	19.93605	
		6	1.80978	2.33041	5.24059	8.41675	2.28923	2.90116	15.98461	19.97991	
		7	2.54258	2.57061	9.16400	10.04654	3.02721	3.16963	26.92799	27.39886	
		8	2.29647	2.36928	8.98660	8.97034	2.99777	2.99505	26.96874	27.85994	
		9	2.43604	2.57974	10.05217	10.87762	3.17052	3.29812	18.79879	19.60966	
		10	2.32372	2.24970	9.25652	8.90129	3.04245	2.98350	18.65100	18.04593	
		Rata-Rata	2.19808	2.38396	7.88433	9.07680	2.79177	3.00445	20.54258	22.22507	
		2	1	1.97679	2.41640	5.53505	7.99203	2.35267	2.82702	21.22781	26.03911
			2	2.02269	2.18098	6.75725	8.19779	2.59947	2.86318	18.80163	19.54241
			3	1.97465	2.12364	6.43549	6.92099	2.53683	2.63078	17.62845	19.32784
	4		2.43897	2.95338	9.76546	12.89271	3.12497	3.59064	21.66298	26.73818	

	5	2.22952	2.52814	8.03116	10.20519	2.83393	3.19456	19.36284	22.01617
	6	1.84320	2.31081	5.29370	8.16193	2.30081	2.85691	16.14438	19.91665
	7	2.51889	2.56003	9.20191	9.99992	3.03346	3.16226	27.09224	27.23878
	8	2.13469	2.36464	7.68109	8.95108	2.77148	2.99184	25.06999	27.81368
	9	2.23381	2.57974	9.57275	10.87762	3.09399	3.29812	17.15756	19.60966
	10	2.34800	2.24970	9.52868	8.90129	3.08686	2.98350	18.70753	18.04593
	Rata-Rata	2.17212	2.42675	7.78025	9.31006	2.77345	3.03988	20.28554	22.62884
3	1	2.14950	2.41320	6.68022	7.97613	2.58461	2.82420	23.41354	26.00118
	2	2.08665	2.17769	7.01088	8.18176	2.64781	2.86038	19.52928	19.45210
	3	1.97465	2.12364	6.43549	6.92099	2.53683	2.63078	17.62845	19.32784
	4	2.38156	2.74835	9.37603	11.71101	3.06203	3.42214	21.10081	24.88941
	5	2.22952	2.34173	8.03116	8.90431	2.83393	2.98401	19.36284	20.45497
	6	1.71989	2.28002	4.70661	7.90609	2.16947	2.81178	15.23278	19.61728
	7	2.52299	2.56007	9.09666	10.00009	3.01607	3.16229	26.75022	27.23940
	8	2.04720	2.34844	7.22114	8.90837	2.68722	2.98469	24.19675	27.66539
	9	2.28210	2.57974	9.74477	10.87762	3.12166	3.29812	17.54515	19.60966
	10	2.32372	2.24970	9.25652	8.90129	3.04245	2.98350	18.65100	18.04593
	Rata-Rata	2.17178	2.38226	7.75595	9.02876	2.77021	2.99619	20.34108	22.23032
4	1	1.93920	2.40668	5.53008	7.94390	2.35161	2.81849	20.87473	25.92386
	2	2.11514	2.17503	7.11975	8.17166	2.66829	2.85861	19.57678	19.38601
	3	1.94637	2.12364	6.37767	6.92099	2.52541	2.63078	17.45237	19.32784
	4	2.39185	2.73248	9.54552	11.70114	3.08958	3.42069	21.00968	24.73035
	5	1.98428	2.28493	7.16848	8.80751	2.67740	2.96774	17.57969	19.94799
	6	1.68261	2.26428	4.50968	7.80706	2.12360	2.79411	14.75982	19.41431
	7	2.51889	2.56164	9.20191	10.00697	3.03346	3.16338	27.09224	27.26323
	8	2.30430	2.35162	8.99507	8.92341	2.99918	2.98721	27.00863	27.70394
	9	2.32662	2.57974	9.69345	10.87762	3.11343	3.29812	17.86590	19.60966
	10	2.50421	2.24970	10.89015	8.90129	3.30002	2.98350	19.69628	18.04593
	Rata-Rata	2.17135	2.37297	7.90318	9.00615	2.78820	2.99226	20.29161	22.13531
5	1	1.93920	2.41378	5.53008	7.97901	2.35161	2.82471	20.87473	26.00805
	2	2.02581	2.16987	6.79847	8.16178	2.60739	2.85688	18.79210	19.34459
	3	1.95135	2.12364	6.43386	6.92099	2.53651	2.63078	17.41794	19.32784
	4	2.38467	2.76398	9.88376	11.73788	3.14384	3.42606	20.41872	24.98549
	5	2.22952	2.45055	8.03116	9.55234	2.83393	3.09069	19.36284	21.36252
	6	1.90845	2.14936	5.36166	7.19402	2.31553	2.68217	16.69877	18.10439
	7	2.52840	2.55999	9.11927	9.99947	3.01981	3.16219	26.80690	27.23775
	8	2.29647	2.35738	8.98660	8.94162	2.99777	2.99025	26.96874	27.76017
	9	2.43604	2.57974	10.05217	10.87762	3.17052	3.29812	18.79879	19.60966
	10	2.34800	2.24970	9.52868	8.90129	3.08686	2.98350	18.70753	18.04593
	Rata-Rata	2.20479	2.38180	7.97257	9.02660	2.80638	2.99454	20.48471	22.17864

Pada Tabel 4.17 menunjukkan performa MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari 5 kali perulangan pengujian dengan skenario 7 cluster dan 10 fold sehingga didapatkan nilai rata-rata performa MAE, MSE, RMSE, dan MAPE. Tabel 4.18 menunjukkan performa perkiraan nilai BOD dengan 9 cluster pada 10 fold.

Tabel 4.18. Performa Perkiraan Nilai BOD dengan 9 Cluster pada 10 Fold

Cluster	Perulangan	Fold	MAE		MSE		RMSE		MAPE	
			IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	iRFCM	FCM
9	1	1	1.99723	2.41017	5.78855	7.96112	2.40594	2.82155	21.68107	25.96524
		2	2.04617	2.18351	6.84732	8.22981	2.61674	2.86876	18.97112	19.64326
		3	1.95558	2.12364	6.39888	6.92099	2.52960	2.63078	17.34354	19.32784
		4	2.38154	2.76398	10.00106	11.73788	3.16245	3.42606	20.55046	24.98549
		5	2.07752	2.28592	7.56960	8.80936	2.75129	2.96806	18.40483	19.95974
		6	1.75497	1.95015	4.67270	5.92437	2.16164	2.43400	15.42779	15.97215
		7	2.52877	2.55792	8.94440	9.97536	2.99072	3.15838	26.86756	27.18201
		8	2.07012	2.35047	7.35010	8.92281	2.71111	2.98711	24.46287	27.69530
		9	2.26810	2.57974	9.64820	10.87762	3.10615	3.29812	17.42213	19.60966
		10	2.34426	2.24970	9.43675	8.90129	3.07193	2.98350	18.73825	18.04593
		Rata-Rata	2.14243	2.34552	7.66576	8.82606	2.75076	2.95763	19.98696	21.83866
	2	1	2.04144	2.40642	5.76766	7.94264	2.40160	2.81827	22.06380	25.92082
		2	2.06354	2.16891	6.93214	8.16776	2.63290	2.85793	19.02926	19.27384
		3	2.04013	2.12364	6.86007	6.92099	2.61917	2.63078	18.36187	19.32784
		4	2.38869	2.76398	9.77428	11.73788	3.12638	3.42606	20.89149	24.98549
		5	2.07272	2.28468	7.52808	8.82041	2.74373	2.96992	18.41385	19.90967
		6	1.60507	2.07324	4.13641	6.45022	2.03382	2.53973	14.07562	17.14085
		7	2.53690	2.55792	8.92201	9.97536	2.98697	3.15838	26.91508	27.18201
		8	2.19940	2.35197	8.15237	8.90878	2.85523	2.98476	25.75023	27.68901
		9	2.26810	2.57974	9.64820	10.87762	3.10615	3.29812	17.42213	19.60966
		10	2.32044	2.24970	9.36531	8.90129	3.06028	2.98350	18.49389	18.04593
		Rata-Rata	2.15364	2.35602	7.70865	8.87030	2.75662	2.96674	20.14172	21.90851
		3	1	2.09652	2.40599	6.07984	7.94051	2.46573	2.81789	22.86416
	2		2.06354	2.17690	6.93214	8.18348	2.63290	2.86068	19.02926	19.46221
	3		1.95558	2.12364	6.39888	6.92099	2.52960	2.63078	17.34354	19.32784
	4		2.39650	2.76398	9.78631	11.73788	3.12831	3.42606	20.88760	24.98549
	5		2.11084	2.28528	7.71405	8.81178	2.77742	2.96846	18.67503	19.93868
	6		1.63328	2.27183	4.15449	8.47786	2.03826	2.91168	14.36701	18.78192
	7		2.52736	2.55792	9.06629	9.97536	3.01103	3.15838	26.70863	27.18201
	8		2.15012	2.34797	7.72745	8.91032	2.77983	2.98502	25.24298	27.66457
	9		2.36995	2.57974	9.69056	10.87762	3.11297	3.29812	18.10128	19.60966
	10		2.37579	2.24970	10.12300	8.90129	3.18167	2.98350	18.78328	18.04593
	Rata-Rata		2.16795	2.37630	7.76730	9.07371	2.76577	3.00406	20.20028	22.09140

4	1	1.99723	2.40619	5.78855	7.94149	2.40594	2.81806	21.68107	25.91806
	2	2.05935	2.18255	6.89852	8.20066	2.62650	2.86368	19.02353	19.52076
	3	1.93852	2.12364	6.39687	6.92099	2.52920	2.63078	17.12573	19.32784
	4	2.43625	2.76398	9.94230	11.73788	3.15314	3.42606	21.57985	24.98549
	5	2.07359	2.28464	7.54623	8.80740	2.74704	2.96773	18.41338	19.94703
	6	1.69512	2.41628	4.41867	9.88126	2.10206	3.14345	14.94948	20.51970
	7	2.52736	2.55792	9.06629	9.97536	3.01103	3.15838	26.70863	27.18201
	8	2.16577	2.34935	7.98563	8.91375	2.82589	2.98559	25.46702	27.67755
	9	2.26810	2.57974	9.64820	10.87762	3.10615	3.29812	17.42213	19.60966
	10	2.35476	2.24970	9.76215	8.90129	3.12444	2.98350	18.61773	18.04593
	Rata-Rata	2.15161	2.39140	7.74534	9.21577	2.76314	3.02754	20.09886	22.27340
5	1	2.05440	2.40672	5.88700	7.94411	2.42631	2.81853	22.22847	25.92436
	2	2.10414	2.18237	7.00941	8.21644	2.64753	2.86643	19.37768	19.60616
	3	1.95345	2.12364	6.36810	6.92099	2.52351	2.63078	17.49743	19.32784
	4	2.43913	2.76398	9.87420	11.73788	3.14232	3.42606	21.50121	24.98549
	5	2.07359	2.28678	7.54623	8.80762	2.74704	2.96776	18.41338	19.96460
	6	1.63270	2.22998	4.23900	7.31960	2.05888	2.70548	14.54794	19.07289
	7	2.52877	2.55792	8.94440	9.97536	2.99072	3.15838	26.86756	27.18201
	8	2.08414	2.34799	7.36080	8.90877	2.71308	2.98476	24.62852	27.66250
	9	2.26810	2.57974	9.64820	10.87762	3.10615	3.29812	17.42213	19.60966
	10	2.43805	2.24970	10.34591	8.90129	3.21651	2.98350	19.08844	18.04593
	Rata-Rata	2.15765	2.37288	7.72232	8.96097	2.75721	2.98398	20.15728	22.13814

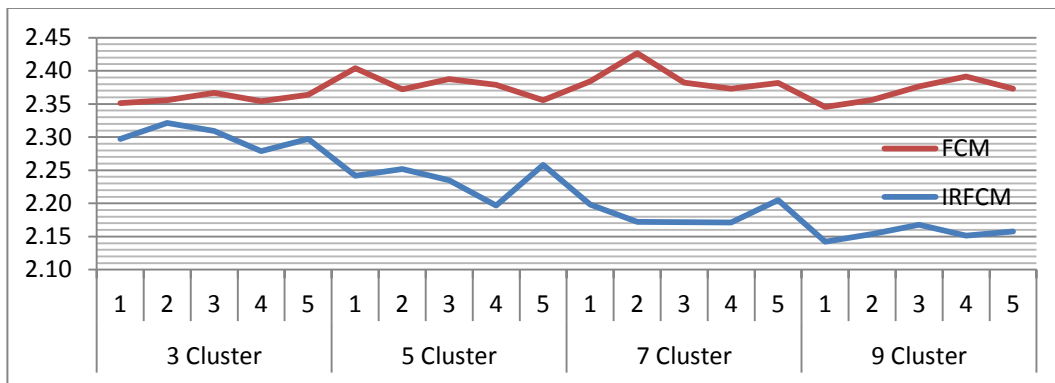
Pada Tabel 4.18 menunjukkan performa MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari 5 kali perulangan pengujian dengan skenario 9 *cluster* dan 10 *fold* sehingga didapatkan nilai rata-rata performa MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari setiap perulangan pengujian.

Berdasarkan hasil pengujian dengan 10 *fold* yang dilakukan, kemudian diambil rata-rata nilai MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari setiap perulangan. Sehingga dari setiap skenario perubahan jumlah *cluster* didapatkan 5 nilai MAE, MSE, dan RMSE. Kemudian nilai MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dihitung rata-rata, nilai minimal, nilai maksimal dan standar deviasi dari masing-masing skenario perubahan jumlah *cluster*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana perubahan yang terjadi pada setiap perubahan jumlah *cluster*. Tabel 4.19 menunjukkan performa perkiraan nilai BOD dengan pembagian data latih dan data uji sebanyak 10 *fold* dan jumlah *cluster* yang berubah sesuai skenario sebanyak 3,5,7, dan 9 *cluster*.

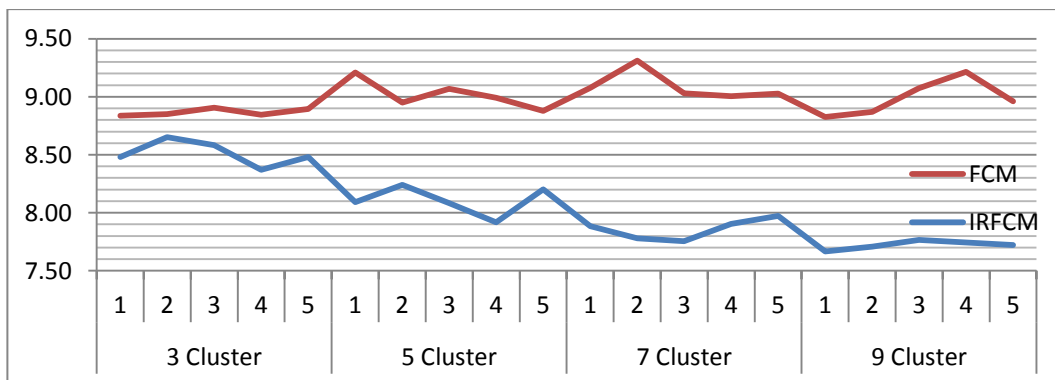
Tabel 4.19. Performa Perkiraan pada 10 *Fold*

<i>Fold</i>	<i>Cluster</i>	Perulangan	MAE		MSE		RMSE		MAPE	
			IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM	IRFCM	FCM
10	3	1	2.29745	2.35106	8.48194	8.83578	2.89909	2.95920	21.58300	21.88745
		2	2.32136	2.35574	8.65254	8.85114	2.92730	2.96277	21.79740	21.95183
		3	2.30936	2.36676	8.58209	8.90533	2.91221	2.97059	21.71746	22.04900
		4	2.27874	2.35437	8.37166	8.84352	2.88188	2.96086	21.37685	21.92929
		5	2.29745	2.36395	8.48194	8.89560	2.89909	2.96957	21.58300	22.02681
		Rata-Rata	2.30087	2.35838	8.51403	8.86628	2.90392	2.96460	21.61154	21.96888
		Minimal	2.27874	2.35106	8.37166	8.83578	2.88188	2.95920	21.37685	21.88745
		Maximal	2.32136	2.36676	8.65254	8.90533	2.92730	2.97059	21.79740	22.04900
		Std. Deviasi	0.01585	0.00667	0.10741	0.03187	0.01694	0.00517	0.16006	0.06757
10	5	1	2.24165	2.40388	8.09186	9.20929	2.82942	3.01939	21.03530	22.33140
		2	2.25171	2.37188	8.24038	8.94927	2.85834	2.98163	20.96776	22.09954
		3	2.23497	2.38740	8.08356	9.06745	2.83059	2.99635	20.96885	22.19401
		4	2.19692	2.37868	7.91663	8.99065	2.79994	2.98639	20.65859	22.11033
		5	2.25817	2.35551	8.20264	8.87671	2.85111	2.96784	21.20627	21.90577
		Rata-Rata	2.23669	2.37947	8.10701	9.01867	2.83388	2.99032	20.96735	22.12821
		Minimal	2.19692	2.35551	7.91663	8.87671	2.79994	2.96784	20.65859	21.90577
		Maximal	2.25817	2.40388	8.24038	9.20929	2.85834	3.01939	21.20627	22.33140
		Std. Deviasi	0.02396	0.01797	0.12645	0.12695	0.02279	0.01922	0.19814	0.15511
10	7	1	2.19808	2.38396	7.88433	9.07680	2.79177	3.00445	20.54258	22.22507
		2	2.17212	2.42675	7.78025	9.31006	2.77345	3.03988	20.28554	22.62884
		3	2.17178	2.38226	7.75595	9.02876	2.77021	2.99619	20.34108	22.23032
		4	2.17135	2.37297	7.90318	9.00615	2.78820	2.99226	20.29161	22.13531
		5	2.20479	2.38180	7.97257	9.02660	2.80638	2.99454	20.48471	22.17864
		Rata-Rata	2.18362	2.38955	7.85926	9.08968	2.78600	3.00546	20.38910	22.27963
		Minimal	2.17135	2.37297	7.75595	9.00615	2.77021	2.99226	20.28554	22.13531
		Maximal	2.20479	2.42675	7.97257	9.31006	2.80638	3.03988	20.54258	22.62884
		Std. Deviasi	0.01643	0.02123	0.08988	0.12589	0.01466	0.01978	0.11750	0.19899
10	9	1	2.14243	2.34552	7.66576	8.82606	2.75076	2.95763	19.98696	21.83866
		2	2.15364	2.35602	7.70865	8.87030	2.75662	2.96674	20.14172	21.90851
		3	2.16795	2.37630	7.76730	9.07371	2.76577	3.00406	20.20028	22.09140
		4	2.15161	2.39140	7.74534	9.21577	2.76314	3.02754	20.09886	22.27340
		5	2.15765	2.37288	7.72232	8.96097	2.75721	2.98398	20.15728	22.13814
		Rata-Rata	2.15465	2.36842	7.72187	8.98936	2.75870	2.98799	20.11702	22.05002
		Minimal	2.14243	2.34552	7.66576	8.82606	2.75076	2.95763	19.98696	21.83866
		Maximal	2.16795	2.39140	7.76730	9.21577	2.76577	3.02754	20.20028	22.27340
		Std. Deviasi	0.00929	0.01795	0.03853	0.15813	0.00590	0.02833	0.08125	0.17612

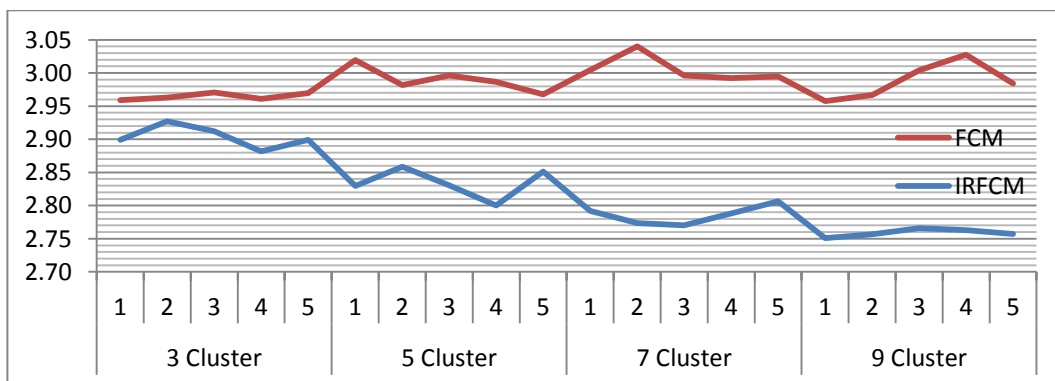
Hasil pengujian dengan 10 *fold* menunjukkan bahwa penentuan *centroid* menggunakan metode IRFCM menghasilkan nilai MAE, MSE, RMSE, dan MAPE yang lebih kecil dibandingkan menggunakan metode FCM. Performa menggunakan *centroid* IRFCM semakin membaik seiring meningkatnya jumlah *cluster* yang ditandai dengan nilai rata-rata MAE, MSE, RMSE, dan MAPE yang semakin menurun. Grafik hasil pengukuran MAE, MSE, RMSE, dan MAPE pada setiap perulangan ditunjukkan Gambar 4.14.



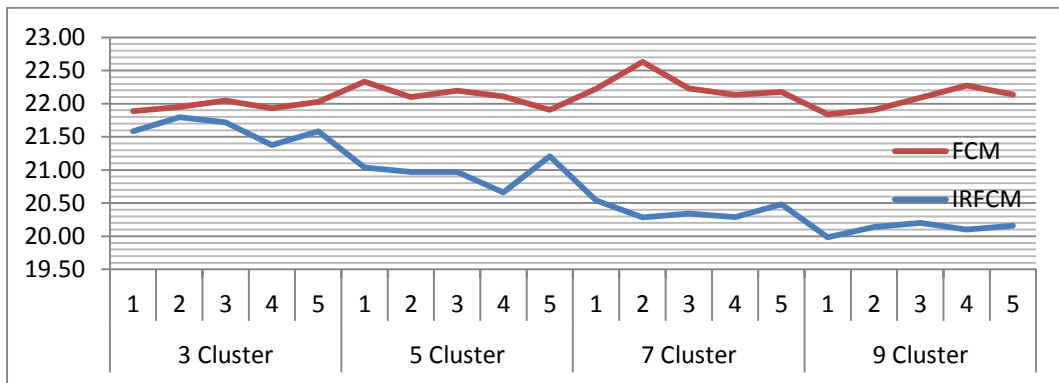
(a)



(b)



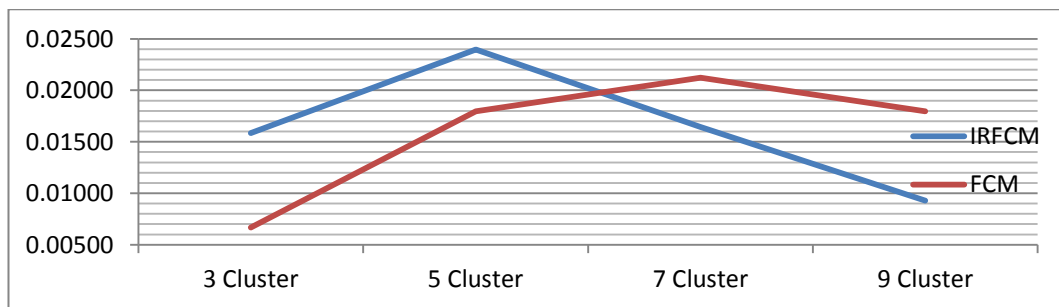
(c)



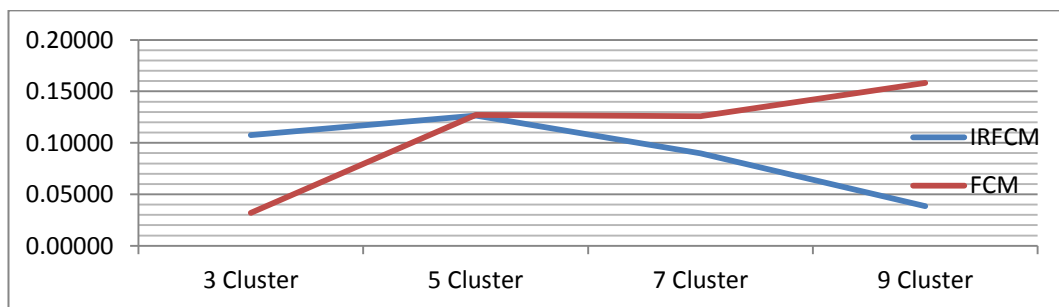
(d)

Gambar 4.6. Hasil Pengukuran dari Pengujian 10 *Fold* dengan Evaluasi :
 (a) MAE, (b) MSE, (c) RMSE, dan (d) MAPE

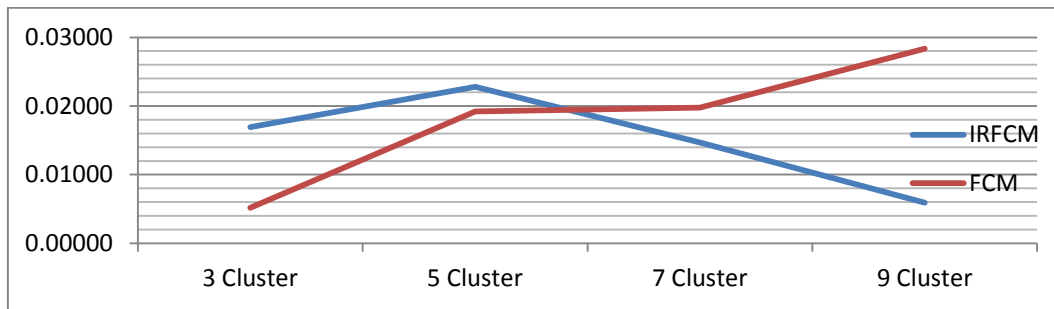
Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pada pengujian dengan 10 *fold* didapatkan nilai MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari *centroid* IRFCM yang semakin kecil seiring bertambahnya jumlah *cluster*. Sedangkan FCM menunjukkan nilai MAE, MSE, RMSE, dan MAPE yang semakin tidak stabil seiring bertambahnya jumlah *cluster*. Standar deviasi dari pengukuran MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.7.



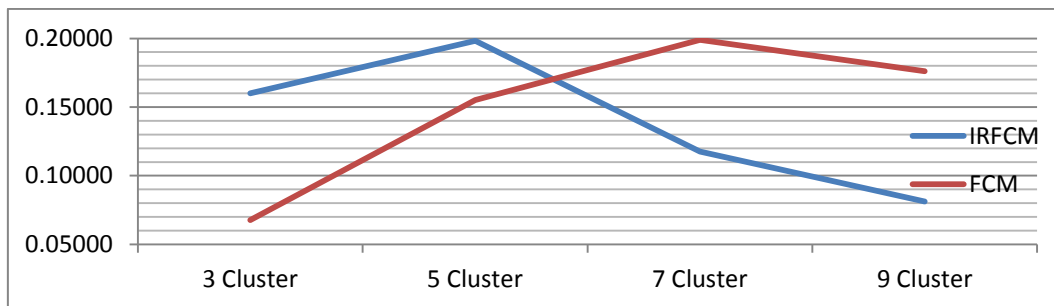
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.7. Standar Deviasi Hasil Pengukuran pada Pengujian 10 *Fold* dari Evaluasi :

(a) MAE, (b) MSE, (c) RMSE, dan (d) MAPE

Gambar 4.7 menunjukkan standar deviasi nilai MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dari pengujian dengan 10 *fold*. Hasil pengukuran standar deviasi MAE, MSE, RMSE, dan MAPE dengan IRFCM menunjukkan penurunan nilai standar deviasi mulai pengujian 5, 7, hingga 9 *cluster*. Hal ini menunjukkan perkiraan nilai BOD yang dilakukan semakin stabil pada setiap perulangan pengujian sebanyak 5 kali perulangan. Sedangkan FCM menunjukkan standar deviasi yang semakin tinggi seiring bertambahnya jumlah *cluster*.

4.4. Analisa Hasil

Analisa yang dilakukan terhadap parameter *input* yang mempengaruhi parameter BOD menunjukkan bahwa terdapat 5 parameter yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap parameter BOD. Berdasarkan hasil pengukuran korelasi *Pearson* dan *p-value* menunjukkan bahwa parameter warna, turbidity, alkalinitas, sulfida, dan CO_2 bebas memiliki pengaruh signifikan terhadap parameter BOD dengan nilai korelasi *Pearson* diatas 0,1 dan nilai *p-value* kurang dari 0.05 .

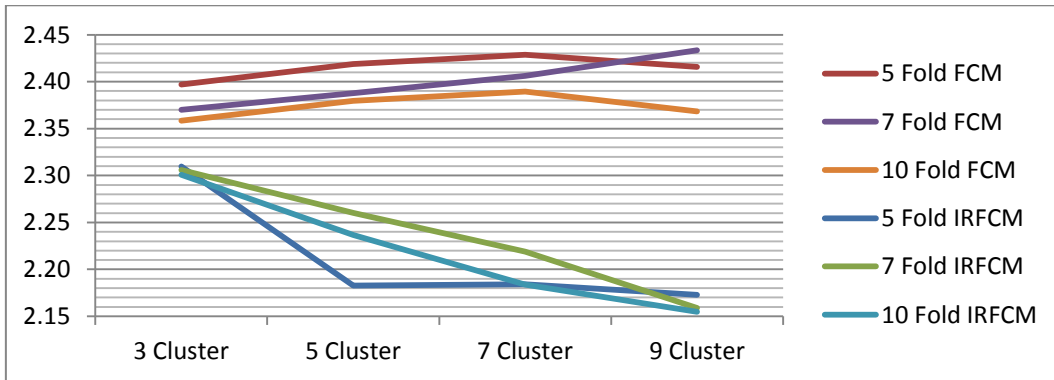
Analisa hasil dilakukan untuk mengetahui dampak perubahan jumlah *cluster* sesuai skenario ujicoba yang dilakukan terhadap performa perkiraan nilai BOD.

Analisa hasil mengambil nilai rata-rata dari pengukuran nilai MAE, MSE, RMSE, dan MAPE sehingga dapat diketahui dampak perubahan jumlah *cluster* terhadap performa perkiraan dari metode yang diusulkan yaitu RBFN yang menggunakan IRFCM dan FCM dalam penentuan *centroidnya*. Tabel 4.20 menunjukkan perbandingan performa pada skenario perubahan jumlah *cluster*.

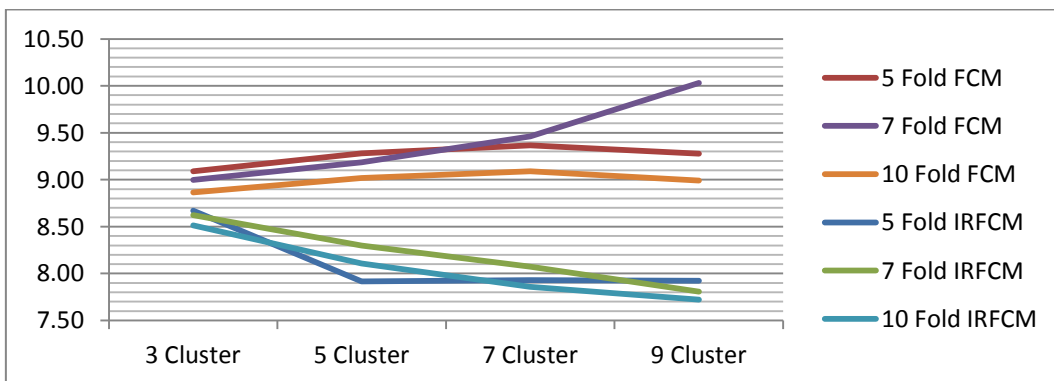
Tabel 4.20. Perbandingan Performa pada Peningkatan Jumlah *Cluster*

Pengukuran	Clustering	Fold	3 Cluster	5 Cluster	7 Cluster	9 Cluster
MAE	IRFCM	5	2.30954	2.18265	2.18419	2.17300
		7	2.30597	2.26022	2.21888	2.15876
		10	2.30087	2.23669	2.18362	2.15465
	FCM	5	2.39696	2.41873	2.42866	2.41568
		7	2.37002	2.38771	2.40622	2.43359
		10	2.35838	2.37947	2.38955	2.36842
MSE	IRFCM	5	8.66876	7.91698	7.93103	7.92179
		7	8.62246	8.29942	8.07165	7.80709
		10	8.51403	8.10701	7.85926	7.72187
	FCM	5	9.08975	9.28079	9.36670	9.27831
		7	8.99848	9.18667	9.46104	10.03223
		10	8.86628	9.01867	9.08968	8.98936
RMSE	IRFCM	5	2.92825	2.80143	2.80305	2.80159
		7	2.92722	2.86981	2.82813	2.78128
		10	2.90392	2.83388	2.78600	2.75870
	FCM	5	3.00315	3.03017	3.04207	3.02956
		7	2.99555	3.02794	3.06819	3.13619
		10	2.96460	2.99032	3.00546	2.98799
MAPE	IRFCM	5	21.42587	20.33074	20.30973	20.19528
		7	21.49795	21.05630	20.66118	20.12574
		10	21.61154	20.96735	20.38910	20.11702
	FCM	5	22.14029	22.33935	22.41426	22.28562
		7	22.04790	22.21051	22.36719	22.60892
		10	21.96888	22.12821	22.27963	22.05002
Akurasi	IRFCM	5	78.57413	79.66926	79.69027	79.80472
		7	78.50205	78.94370	79.33882	79.87426
		10	78.38846	79.03265	79.61090	79.88298
	FCM	5	77.85971	77.66065	77.58574	77.71438
		7	77.95210	77.78949	77.63281	77.39108
		10	78.03112	77.87179	77.72037	77.94998

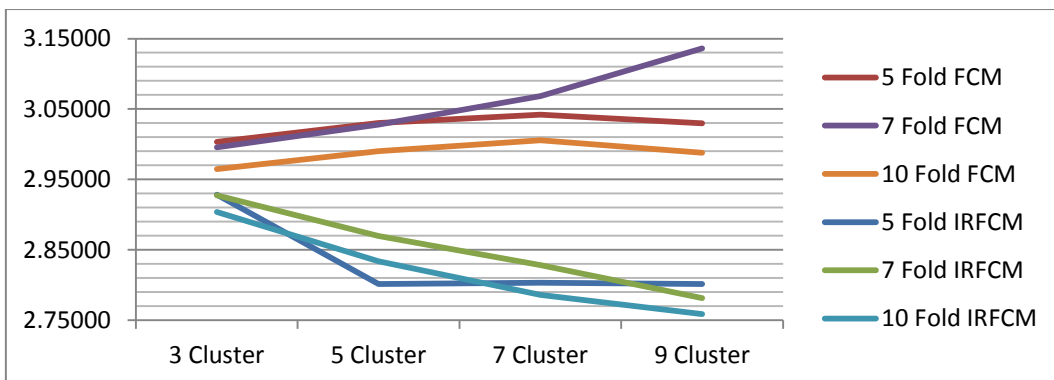
Tabel 4.20 menunjukkan bahwa performa IRFCM dalam menentukan *centroid* untuk perkiraan nilai BOD menggunakan metode RBFN semakin membaik seiring meningkatnya jumlah *cluster*. Hal ini ditandai dengan semakin kecilnya nilai MAE, MSE, RMSE, dan MAPE. Berbeda dengan FCM yang menunjukkan tidak ada perubahan performa perkiraan yang signifikan pada setiap perubahan jumlah *cluster*. Gambar 4.8 menunjukkan perbandingan performa pada setiap perubahan jumlah *cluster*.



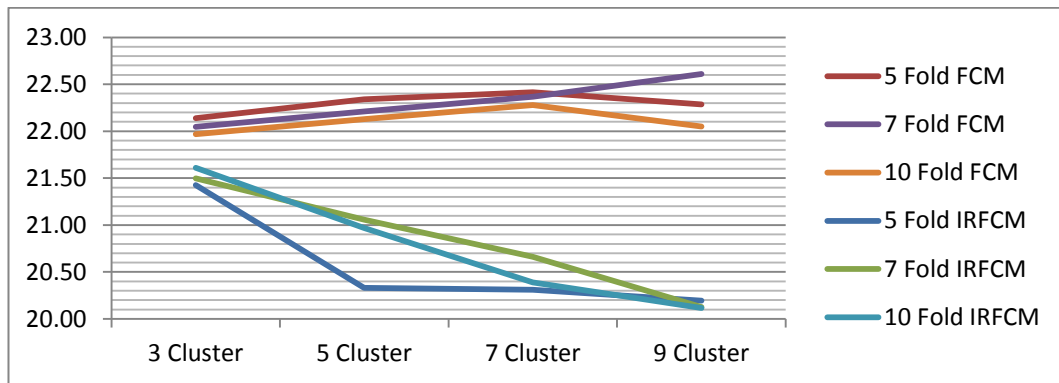
(a)



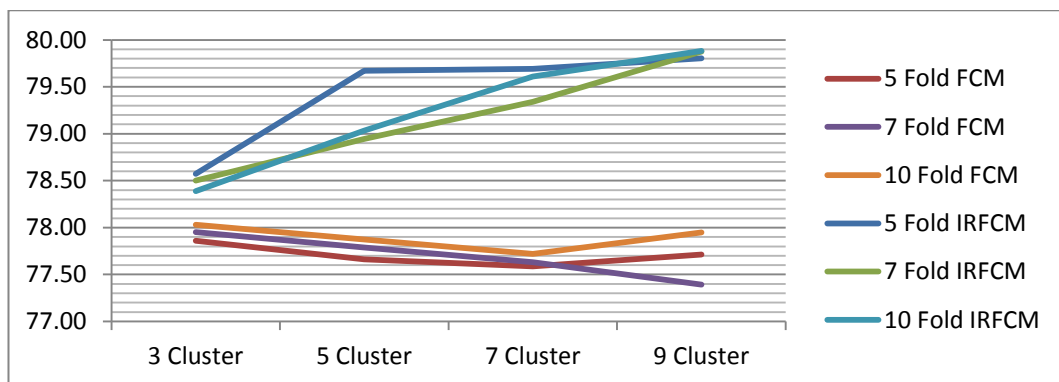
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4.8. Perbandingan Performa pada Perubahan Jumlah *Cluster* dengan Evaluasi :

(a) MAE, (b) MSE, (c) RMSE, (d) MAPE, dan (e) Akurasi

Gambar 4.8 menunjukkan peningkatan performa IRFCM dalam menentukan *centroid* untuk perkiraan nilai BOD menggunakan metode RBFN semakin membaik seiring meningkatnya jumlah *cluster*. Hal ini ditunjukkan dengan semakin menurunnya nilai MAE, MSE, RMSE, dan MAPE serta meningkatnya akurasi perkiraan nilai BOD mulai skenario 3, 5, 7, dan 9 *cluster*. Kondisi yang sama terjadi pada pengujian dengan 5, 7, dan 10 *fold*. Sehingga dapat diketahui dari skenario yang dilakukan, terjadi peningkatan performa IRFCM dalam menentukan *centroid* untuk perkiraan nilai BOD menggunakan metode RBFN semakin membaik seiring meningkatnya jumlah *cluster*.

Hal berbeda terjadi pada FCM yang menunjukkan tidak ada perubahan performa perkiraan yang signifikan pada setiap skenario perubahan jumlah *cluster*. hal ini di tandai dengan nilai MAE, MSE, RMSE, dan MAPE yang tidak jauh berbeda pada setiap perubahan jumlah *cluster*. Akurasi perkiraan nilai BOD

yang dihasilkan menggunakan *centroid* dari FCM masih lebih kecil jika dibandingkan dengan menggunakan *centroid* dari IRFCM.

Pengukuran performa terbaik pada skenario *5 fold cross validation* dengan IRFCM untuk menentukan *centroid* dalam perkiraan nilai BOD menggunakan metode RBFN didapatkan pada pengujian *9 cluster*. Nilai rata-rata MAE, MSE, RMSE, MAPE, dan akurasi dari 5 kali perulangan (iterasi) sebesar 2.17300, 7.92179, 2.80159, 20.19528, dan 79.80472. Sedangkan performa terbaik FCM didapatkan pada *3 cluster* dengan nilai rata-rata MAE, MSE, RMSE, MAPE, dan akurasi dari 5 kali perulangan (iterasi) sebesar 2.39696, 9.08975, 3.00315, 22.14029, dan 77.85971.

Pengukuran performa terbaik pada skenario *7 fold cross validation* dengan IRFCM untuk menentukan *centroid* dalam perkiraan nilai BOD menggunakan metode RBFN didapatkan pada pengujian *9 cluster*. Nilai rata-rata MAE, MSE, RMSE, MAPE, dan akurasi dari 5 kali perulangan (iterasi) sebesar 2.15876, 7.80709, 2.78128, 20.12574, dan 79.87426. Sedangkan performa terbaik FCM didapatkan pada *3 cluster* dengan nilai rata-rata MAE, MSE, RMSE, MAPE, dan akurasi dari 5 kali perulangan (iterasi) sebesar 2.37002, 8.99848, 2.99555, 22.04790, dan 77.95210.

Pengukuran performa terbaik pada skenario *10 fold cross validation* dengan IRFCM untuk menentukan *centroid* dalam perkiraan nilai BOD menggunakan metode RBFN didapatkan pada pengujian *9 cluster*. Nilai rata-rata MAE, MSE, RMSE, MAPE, dan akurasi dari 5 kali perulangan (iterasi) sebesar 2.15465, 7.72187, 2.7587, 20.11702 dan 79.88298. Sedangkan performa terbaik FCM didapatkan pada *3 cluster* dengan nilai rata-rata MAE, MSE, RMSE, MAPE, dan akurasi dari 5 kali perulangan (iterasi) sebesar 2.35838, 8.86628, 2.96460, 21.96888 dan 78.03112.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian dan beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya.

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan metode yang telah diimplementasikan dan hasil ujicoba yang diperoleh, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Pengukuran korelasi yang dilakukan terhadap parameter *input* yang mempengaruhi parameter BOD menunjukkan bahwa terdapat 5 parameter yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap parameter BOD. Berdasarkan hasil pengukuran korelasi *Pearson* dan *p-value* menunjukkan bahwa parameter warna, turbidity, alkalinitas, sulfida, dan CO_2 bebas memiliki pengaruh signifikan terhadap parameter BOD dengan nilai korelasi *Pearson* diatas 0,1 dan nilai *p-value* kurang dari 0.05 .
2. Pengujian perkiraan nilai BOD menggunakan metode RBFN dengan IRFCM untuk menentukan *centroid* pada skenario *5 fold cross validation* didapatkan performa terbaik pada pengujian *9 cluster*. Nilai rata-rata MAE, MSE, RMSE, MAPE, dan akurasi dari 5 kali perulangan (iterasi) sebesar 2.17300, 7.92179, 2.80159, 20.19528, dan 79.80472. Sedangkan performa terbaik FCM didapatkan pada *3 cluster* dengan nilai rata-rata MAE, MSE, RMSE, MAPE, dan akurasi dari 5 kali perulangan (iterasi) sebesar 2.39696, 9.08975, 3.00315, 22.14029, dan 77.85971.
3. Pengujian perkiraan nilai BOD menggunakan metode RBFN dengan IRFCM untuk menentukan *centroid* pada skenario *7 fold cross validation* didapatkan performa terbaik pada pengujian *9 cluster*. Nilai rata-rata MAE, MSE, RMSE, MAPE, dan akurasi dari 5 kali perulangan (iterasi) sebesar 2.15876, 7.80709, 2.78128, 20.12574, dan 79.87426. Sedangkan performa terbaik FCM didapatkan pada *3 cluster* dengan nilai rata-rata MAE, MSE, RMSE,

MAPE, dan akurasi dari 5 kali perulangan (iterasi) sebesar 2.37002, 8.99848, 2.99555, 22.04790, dan 77.95210.

4. Pengujian perkiraan nilai BOD menggunakan metode RBFN dengan IRFCM untuk menentukan *centroid* pada skenario 10 *fold cross validation* didapatkan performa terbaik pada pengujian 9 *cluster*. Nilai rata-rata MAE, MSE, RMSE, MAPE, dan akurasi dari 5 kali perulangan (iterasi) sebesar 2.15465, 7.72187, 2.7587, 20.11702 dan 79.88298. Sedangkan performa terbaik FCM didapatkan pada 3 *cluster* dengan nilai rata-rata MAE, MSE, RMSE, MAPE, dan akurasi dari 5 kali perulangan (iterasi) sebesar 2.35838, 8.86628, 2.96460, 21.96888 dan 78.03112.
5. Performa perkiraan nilai BOD menggunakan metode RBFN semakin meningkat seiring meningkatnya jumlah *cluster* yang digunakan. Hal ini dapat dilihat dengan nilai MAE, MSE, RMSE, dan MAPE yang semakin kecil. Hasil pengujian juga menunjukkan standar deviasi yang cukup kecil. Hal ini berarti performa pengujian dari skenario yang dilakukan cukup merata.
6. Perkiraan nilai BOD dengan metode RBFN menghasilkan performa perkiraan yang lebih bagus ketika dipasangkan dengan metode *Improvement Relational Fuzzy C-Means* (IRFCM) untuk menentukan nilai *centroid*nya dibandingkan metode *Fuzzy C-Means* (FCM).

5.2. Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini, perkiraan nilai BOD dapat dikembangkan dengan penggunaan metode interpolasi pada data latih untuk menghasilkan bobot yang lebih baik. Selain itu dapat digunakan metode *clustering* lain yang dapat menghasilkan nilai *centroid* yang lebih baik sehingga pada akhirnya dapat meningkatkan performa perkiraan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, N., Rini, D. C. and Lubab, A. (2016) 'Pengklastran Lahan Sawah Di Indonesia Menggunakan Fuzzy C-Means', *Jurnal Matematika 'Mantik'*, 02(01), pp. 40–45.
- Agustina, N. and Prihandoko (2018) 'Perbandingan Algoritma K - Means Dengan Algoritma Fuzzy C - Means Untuk Clustering Tingkat Kedisiplinan Kinerja Karyawan', *Jurnal Resti (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, 2(3), pp. 621–626.
- Ahmed, A. A. M. and Shah, S. M. A. (2017) 'Application of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) to Estimate the Biochemical Oxygen Demand (BOD) of Surma River', *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*. King Saud University, 29, pp. 237–243. doi: 10.1016/j.jksues.2015.02.001.
- Apriyanto, F., Sujono, H. A. and Hermanto, L. A. (2016) 'Klasifikasi Kualitas Pisau Potong Tembakau (CUT CELL) Menggunakan Metode Radial Basis Function (RBF)', *Integer Journal*, 1(2), pp. 22–31.
- Badan Standardisasi Nasional (2004a) 'SNI 06-6989.11-2004 Air dan Air Limbah : Cara Uji Derajat Keasaman (pH) dengan Menggunakan Alat pH Meter'.
- Badan Standardisasi Nasional (2004b) 'SNI 06-6989.14-2004 Air dan Air Limbah : Cara Uji Oksigen Terlarut secara Yodometri (Modifikasi Azida)'.
- Badan Standardisasi Nasional (2004c) 'SNI 06-6989.9-2004 Air dan Air Limbah : Cara Uji Nitrit secara Spektrofotometri'.
- Badan Standardisasi Nasional (2005a) 'SNI 06-6989.23-2005 Air dan Air Limbah : Cara Uji Suhu Dengan Termometer'.
- Badan Standardisasi Nasional (2005b) 'SNI 06-6989.25-2005 Air dan Air Limbah : Cara Uji Kekkeruhan dengan Nefelometer'.
- Badan Standardisasi Nasional (2005c) 'SNI 06-6989.30-2005 Air dan Air Limbah : Cara Uji Kadar Amonia dengan Spektrofotometer secara Fenat'.
- Badan Standardisasi Nasional (2005d) 'SNI 06-6989.31-2005 Air dan Air Limbah : Cara Uji Kadar Fosfat dengan Spektrofotometer secara Asam Askorbat'.
- Badan Standardisasi Nasional (2009) 'SNI 6989.70:2009 Air dan Air Limbah : Cara Uji Sulfida dengan Biru Metilen secara Spektrofotometri'.
- Badan Standardisasi Nasional (2011) 'SNI 6989.80:2011 Air dan Air Limbah : Cara Uji Warna secara Spektrofotometri'.

- Banjarsari, M. A., Budiman, H. I. and Farmadi, A. (2015) ‘Penerapan K-Optimal Pada Algoritma Knn untuk Prediksi Kelulusan Tepat Waktu Mahasiswa Program Studi Ilmu Komputer Fmipa Unlam Berdasarkan IP Sampai Dengan Semester 4’, *Kumpulan jurnaL Ilmu Komputer (KLIK)*, 02(02), pp. 50–64.
- Fanjun, L., Junfei, Q. and Wei, Z. (2015) ‘A Fast Growing Cascade Neural Network for BOD Estimation’, *2015 34th Chinese Control Conference*, 2015, pp. 3417–3422. doi: 10.1109/ChiCC.2015.7260167.
- Febrianti, F., Hafiyusholeh, M. and Asyhar, A. H. (2016) ‘Perbandingan Pengklusteran Data Iris Menggunakan Metode K-Means Dan Fuzzy C- Means’, *Jurnal Matematika ‘Mantik’*, 02(01), pp. 7–13.
- Haryono, M. E. A. (2005) ‘Pengenalan Huruf Menggunakan Model Jaringan Saraf Tiruan Radial Basis Function Dengan Randomize Cluster Decision’, *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI)*, 2005(Snati), pp. F63–F67.
- Hathaway, R. J., Davenport, J. W. and Bezdek, J. C. (1989) ‘Relational Duals of The C-Means Clustering Algorithms’, *Pattern Recognition*, 22(2), pp. 205–212. doi: 10.1016/0031-3203(89)90066-6.
- Khalilia, M. A. *et al.* (2014) ‘Improvements to the relational fuzzy c-means clustering algorithm’, *Pattern Recognition*. Elsevier, 47(12), pp. 3920–3930. doi: 10.1016/j.patcog.2014.06.021.
- Li, X. and Song, J. (2015) ‘A New ANN-Markov chain methodology for water quality prediction’, *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*. doi: 10.1109/IJCNN.2015.7280320.
- Mas’udia, P. E., Arinie, F. and Mustafa, L. D. (2018) ‘Clustering Data Remunerasi Dosen Untuk Penilaian Kinerja Menggunakan Fuzzy C-Means’, *Jurnal Resti (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, 2(1), pp. 288–294.
- Nasution, D. A., Khotimah, H. H. and Chamidah, N. (2019) ‘Perbandingan Normalisasi Data untuk Klasifikasi Wine Menggunakan Algoritma K-NN’, *Computer Engineering, Science and System Journal*, 4(1), pp. 78–82. doi: 10.24114/cess.v4i1.11458.
- Noori, R., Safavi, S. and Nateghi Shahrokni, S. A. (2013) ‘A Reduced-order Adaptive Neuro-fuzzy Inference System Model as a Software Sensor for Rapid Estimation of Five-day Biochemical Oxygen Demand’, *Journal of Hydrology*, 495, pp. 175–185. doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.04.052.
- Pemerintah Republik Indonesia (2001) ‘PP RI No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas air dan Pengendalian Pencemaran air’.
- Qiao, J., Li, W. and Han, H. (2014) ‘Soft computing of biochemical oxygen demand using an improved T-S fuzzy neural network’, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 22(11), pp. 1254–1259. doi: 10.1016/j.cjche.2014.09.023.

Rene, E. R. and Saidutta, M. B. (2008) 'Prediction of bod and cod of a refinery wastewater using multilayer artificial neural networks', *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 2(1), pp. 1–7. doi: 10.4090/juee.2008.v2n1.001007.

Salmin (2005) 'Oksigen Terlarut (DO) Dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator Untuk Menentukan Kualitas Perairan', *Oseana*, 30(3), pp. 21–26.

Solgi, A. *et al.* (2017) 'Improving SVR and ANFIS Performance Using Wavelet Transform and PCA Algorithm for Modeling and Predicting Biochemical Oxygen Demand (BOD)', *Ecohydrology and Hydrobiology*. European Regional Centre for Ecohydrology of the Polish Academy of Sciences, 17(2), pp. 164–175. doi: 10.1016/j.ecohyd.2017.02.002.

Standar Nasional Indonesia (1991) 'SNI 06-2422-1991 : Alkalinitas'.

Susana, T. (1988) 'Karbon Dioksida', *Oseana*, XIII(1), pp. 1–11.

[Halaman Ini Sengaja Dikосongkan]

LAMPIRAN

Dataset

Suhu	Turbidity	Warna	pH	Alkalinitas	CO ₂ bebas	DO	Nitrit	Amonia	Pospat	Sulfida	BOD
25.40	66.40	242.76	7.90	196.80	4.37	4.64	0.09	0.56	0.15	0.16	15.00
25.30	474.00	55.34	7.80	144.32	2.62	4.36	0.12	0.89	0.23	0.90	16.00
25.20	88.60	143.00	7.85	223.04	4.59	3.57	0.38	0.53	0.19	0.23	16.00
25.40	45.50	160.03	7.90	216.48	4.81	4.09	0.11	0.23	0.29	0.19	17.00
25.20	121.00	127.59	7.80	190.24	4.97	4.04	0.13	1.13	0.23	0.39	17.00
26.20	194.00	211.13	7.80	196.80	5.62	4.27	0.13	0.33	0.09	0.27	16.00
26.00	144.00	295.47	7.85	209.92	5.25	4.04	0.10	0.40	0.17	0.45	16.00
25.60	233.00	489.31	7.78	183.60	5.45	3.03	0.11	0.27	0.05	0.18	17.00
25.30	63.30	52.17	7.85	242.72	6.07	4.02	0.07	0.17	0.08	0.11	16.00
24.10	276.00	436.59	7.80	213.20	6.09	4.54	0.06	0.50	0.15	0.49	17.00
26.20	93.50	172.20	7.93	209.92	4.37	4.11	0.05	0.43	0.33	0.64	17.00
24.80	106.00	323.05	7.93	180.40	3.76	3.98	0.07	0.72	0.18	0.60	16.00
26.30	49.70	136.51	7.93	259.12	5.40	4.58	0.07	2.78	0.17	0.21	17.00
26.40	47.80	165.71	7.99	214.48	4.01	4.38	0.06	0.47	0.16	0.67	16.00
26.00	317.00	414.70	7.93	157.77	3.29	4.09	0.05	1.07	0.09	0.37	16.00
26.20	108.00	247.62	7.99	193.52	3.58	4.13	0.11	0.96	0.10	0.25	17.00
26.70	326.00	313.32	7.79	180.40	5.25	4.29	0.11	0.98	0.20	0.25	16.00
26.40	92.80	92.72	8.09	178.56	2.45	3.19	0.11	0.58	0.08	0.43	17.00
26.00	63.30	123.54	8.08	176.08	2.89	3.92	0.09	1.04	0.11	0.17	18.00
27.80	81.27	135.70	7.79	166.16	5.31	3.46	0.09	1.50	0.26	0.20	17.00
26.10	87.40	117.05	7.93	168.64	3.96	3.71	0.09	1.01	0.19	0.25	17.00
26.50	46.20	121.10	7.90	176.08	4.37	4.13	0.08	1.28	0.25	0.19	16.00
26.00	35.10	61.90	8.01	183.52	3.67	3.48	0.08	1.24	0.16	0.13	10.00
26.60	30.70	77.31	7.98	176.08	3.64	3.84	0.10	2.04	0.19	0.18	11.00
27.70	136.00	23.78	7.83	161.20	4.70	3.51	0.12	1.65	0.11	0.30	12.00
28.40	24.80	56.22	7.94	181.04	4.10	3.98	0.06	1.45	0.21	0.24	11.00
28.10	33.50	94.34	8.04	176.08	3.26	3.94	0.07	0.98	0.12	0.16	11.00
25.10	35.10	70.01	7.98	195.92	4.16	3.59	0.08	1.03	0.20	0.14	11.00
25.90	27.90	93.53	7.82	181.04	5.41	4.11	0.06	0.70	0.17	0.14	11.00
26.60	31.60	76.50	7.86	138.88	3.83	3.42	0.08	1.76	0.14	0.13	11.00
27.10	23.60	82.98	8.07	148.08	2.59	4.19	0.10	1.18	0.29	0.09	11.00
26.40	34.80	66.76	8.06	165.92	2.84	3.22	0.06	1.64	0.12	0.12	11.00
26.30	16.00	51.35	8.11	168.64	2.62	3.71	0.09	0.30	0.36	0.06	9.00
25.40	23.40	52.17	7.81	165.92	5.22	3.48	0.08	1.06	0.26	0.07	11.00
26.40	25.70	44.06	7.74	163.20	5.94	3.48	0.08	1.81	0.29	0.12	7.00
26.10	19.00	43.24	7.63	174.08	8.16	3.07	0.09	1.47	0.20	0.08	9.00
25.50	16.80	58.65	7.52	164.56	9.86	2.86	0.05	1.64	0.18	0.06	11.00

25.60	30.10	42.43	7.94	165.92	3.75	3.50	0.11	1.64	0.14	0.06	10.00
27.30	18.90	40.81	7.62	165.92	7.83	2.94	0.07	1.41	0.10	0.12	10.00
26.50	19.60	41.62	7.76	176.80	6.24	2.97	0.13	1.57	0.06	0.06	11.00
27.80	17.00	34.32	7.49	165.92	10.81	3.24	0.08	1.21	0.15	0.10	11.00
27.20	20.60	32.70	7.47	171.60	11.43	3.67	0.07	0.35	0.49	0.09	11.00
28.00	17.60	37.57	7.40	165.92	12.99	2.95	0.04	0.41	0.32	0.10	12.00
27.70	16.90	40.81	7.52	217.60	13.14	3.75	0.09	1.99	0.21	0.13	12.00
27.20	8.59	24.59	7.54	220.32	12.55	2.80	0.10	1.38	0.39	0.09	13.00
28.00	8.92	29.46	7.47	169.94	11.36	1.43	0.15	1.56	0.24	0.12	10.00
25.80	28.30	31.89	7.41	137.35	10.87	2.53	0.16	1.62	0.13	0.18	12.00
26.00	23.80	57.84	7.58	142.01	7.59	3.44	0.14	0.30	0.26	0.15	10.00
24.80	89.60	221.67	7.81	129.20	4.04	1.62	0.21	0.30	0.20	0.52	9.00
26.10	127.60	231.40	7.61	118.73	5.71	0.95	0.15	0.53	0.82	0.31	8.00
26.90	377.00	408.21	7.98	132.70	2.83	1.04	0.38	1.02	0.05	0.34	9.00
25.20	115.00	143.81	7.85	121.06	3.42	2.80	0.16	1.40	0.13	0.22	9.00
27.40	59.60	140.57	7.74	162.12	5.90	4.65	0.12	0.30	0.28	0.30	8.00
27.60	70.50	53.79	7.69	180.78	7.38	3.78	0.12	0.10	0.20	0.13	8.00
25.80	175.00	322.24	7.52	101.47	6.13	4.37	0.34	2.69	0.49	0.25	6.00
27.00	420.00	469.85	7.55	147.20	8.30	3.67	0.29	0.18	0.05	0.91	12.00
28.50	79.20	287.36	7.72	138.79	5.29	4.17	0.10	0.14	0.16	0.27	12.00
28.10	194.00	258.98	7.59	151.62	7.79	3.48	0.02	0.60	0.03	0.30	10.00
25.80	342.00	58.99	7.59	144.33	7.42	3.82	0.04	0.61	0.12	0.29	13.00
25.80	134.00	191.66	7.61	182.35	9.16	4.15	0.10	0.09	0.32	0.17	13.00
25.40	395.00	153.54	7.56	182.35	10.04	4.00	0.00	0.15	0.09	0.04	13.00
27.20	115.00	43.24	7.69	168.17	6.87	4.63	0.02	0.15	0.18	0.23	15.00
27.10	365.00	94.34	7.65	153.11	6.86	3.10	0.01	0.90	0.47	0.62	10.00
27.80	121.00	61.09	7.58	167.23	8.80	4.15	0.01	0.66	0.03	0.50	13.00
27.40	266.00	189.23	7.54	154.66	8.92	4.07	0.01	0.38	0.21	0.24	8.00
25.00	156.00	28.65	7.67	178.21	7.62	4.79	0.01	0.06	0.21	0.26	11.00
25.90	223.00	100.02	7.53	138.82	8.14	4.48	0.01	0.74	0.03	0.52	13.00
26.20	107.00	87.04	7.43	148.83	11.06	3.98	0.02	0.67	0.11	0.31	10.00
26.10	436.00	74.06	7.57	128.06	6.89	5.04	0.02	0.55	0.16	0.30	15.00
26.00	78.50	14.05	7.55	155.53	8.77	4.54	0.02	0.45	0.08	0.10	11.00
27.40	38.60	26.21	7.71	172.54	6.73	4.19	0.01	0.24	0.19	0.13	11.00
26.90	23.30	16.48	7.55	173.59	9.78	4.63	0.02	0.00	0.35	0.14	9.00
26.70	26.80	16.48	7.66	149.40	6.54	3.76	0.02	0.04	0.08	0.14	12.00
28.30	21.90	20.54	7.57	165.05	8.88	6.84	0.08	0.10	0.10	0.07	10.00
27.80	20.80	18.10	7.62	180.70	8.67	2.51	0.07	0.07	0.12	0.11	7.00
26.70	20.10	14.86	7.70	172.16	6.87	3.56	0.06	0.09	0.19	0.09	10.00
26.70	20.90	33.51	7.63	190.66	8.94	2.75	0.07	0.01	0.11	0.08	12.00
27.20	36.00	12.42	7.77	183.96	6.25	3.25	0.10	0.18	0.14	0.06	10.00
27.20	13.70	9.99	7.73	184.97	6.89	2.71	0.06	0.04	0.13	0.10	12.00

27.30	35.00	14.05	7.75	186.25	6.62	3.23	0.05	0.12	0.23	0.08	11.00
26.80	38.50	10.80	7.83	179.43	5.31	3.82	0.12	0.15	0.28	0.17	7.00
23.70	16.20	13.24	7.80	183.25	5.89	3.93	0.08	0.24	0.15	0.11	9.00
25.60	14.36	11.61	7.80	216.17	6.77	3.63	0.08	0.13	0.20	0.08	10.00
25.30	9.57	18.10	7.65	172.33	7.72	3.65	0.09	0.04	0.10	0.10	11.00
25.45	15.40	30.27	7.91	148.89	3.66	2.80	0.02	0.21	0.21	0.23	11.00
25.45	12.10	18.10	7.91	172.43	4.24	2.58	0.02	0.18	0.11	0.16	7.00
26.10	14.20	14.86	7.71	218.92	8.54	2.62	0.02	0.21	0.22	0.07	9.00
27.40	9.61	15.67	7.54	187.57	10.82	1.87	0.02	0.14	0.09	0.02	11.00
27.00	14.50	14.05	7.72	186.51	7.11	2.19	0.03	0.04	0.10	0.05	7.00
27.00	13.70	9.18	7.73	213.24	8.13	2.42	0.02	0.13	0.17	0.09	9.00
25.80	9.52	7.56	7.50	198.00	12.52	2.46	0.04	0.13	0.19	0.04	7.00
26.50	9.45	8.37	7.60	197.65	9.93	2.09	0.01	0.04	0.69	0.08	9.00
27.10	6.79	5.94	7.60	198.37	9.97	2.29	0.02	0.13	0.05	0.08	9.00
28.20	8.39	7.56	7.50	187.57	11.86	1.79	0.01	0.07	0.34	0.12	11.00
27.20	7.63	6.75	7.50	187.95	11.89	2.11	0.01	0.19	0.25	0.08	13.00
27.10	8.10	7.56	7.50	187.93	11.09	1.27	0.04	0.08	0.02	0.10	12.00
28.20	17.26	14.86	7.50	208.42	12.85	1.81	0.05	0.35	0.13	0.10	13.00
25.00	386.00	225.73	7.50	187.62	11.87	2.51	0.02	5.53	0.24	0.68	13.00
26.60	85.90	44.06	7.40	156.31	12.45	3.31	0.04	7.14	0.42	0.55	11.00
28.20	96.20	68.39	7.40	166.73	13.28	3.78	0.04	0.25	0.57	0.27	12.00
27.20	40.80	33.51	7.40	166.73	13.28	1.65	0.03	1.44	0.12	0.20	11.00
27.40	223.00	53.79	7.40	135.94	10.82	2.51	0.09	2.30	0.10	0.34	12.00
27.20	79.20	53.79	7.40	187.57	14.63	3.26	0.12	4.56	0.13	0.35	11.00
27.20	38.50	29.46	7.40	166.73	13.28	1.99	0.05	2.19	0.19	0.17	12.00
27.10	146.70	31.89	7.40	145.89	11.62	3.44	0.16	0.04	0.09	0.16	12.00
27.20	112.80	30.27	7.50	156.29	9.88	1.85	0.12	0.49	0.30	0.28	10.00
26.90	456.00	181.12	7.40	120.56	9.60	4.07	0.05	1.89	0.47	1.68	11.00
26.00	82.40	34.32	7.40	180.69	14.39	3.28	0.03	0.19	0.14	0.17	14.00
27.20	315.00	42.43	7.40	140.60	11.19	3.04	0.04	0.33	0.17	0.25	11.00
27.00	108.00	31.89	7.40	160.60	12.79	2.94	0.02	0.57	0.08	0.19	11.00
26.70	233.00	30.27	7.40	140.56	11.19	3.16	0.03	0.08	0.30	0.14	12.00
26.80	123.70	25.40	7.60	170.62	10.79	4.73	0.07	0.20	0.09	0.06	9.00
26.50	95.70	27.02	7.60	170.62	10.79	3.50	0.12	0.18	0.11	0.18	10.00
27.70	37.70	18.10	7.60	190.65	9.58	3.66	0.08	0.16	0.06	0.11	13.00
27.70	160.30	179.50	7.60	180.63	9.07	3.06	0.56	1.04	0.27	0.09	11.00
26.90	33.50	31.89	7.50	180.63	9.07	2.78	0.10	0.23	0.40	0.17	9.00
28.20	51.80	21.35	7.50	175.62	11.11	2.38	0.20	0.14	1.18	0.17	13.00
27.80	46.80	27.02	7.40	186.92	9.39	3.20	0.19	0.10	0.11	0.17	13.00
27.20	52.40	20.54	7.50	190.65	12.06	3.72	0.00	0.16	0.59	0.11	13.00
28.20	41.70	22.16	7.45	176.62	12.46	4.11	0.09	0.25	0.81	0.13	10.00
25.20	193.00	49.73	7.45	170.63	12.11	3.62	0.16	0.51	0.16	0.32	10.00

27.60	23.90	21.35	7.45	175.63	12.46	2.98	0.10	0.19	0.34	0.15	12.00
28.70	82.10	23.78	7.60	146.29	7.35	4.81	0.09	2.45	0.12	0.08	9.00
27.60	43.80	26.21	7.61	171.34	8.41	3.06	0.08	1.71	0.08	0.13	10.00
27.10	44.60	27.02	7.58	152.50	7.49	3.99	0.08	1.46	0.17	0.14	10.00
27.10	27.80	12.42	7.73	186.43	6.94	3.45	0.09	0.87	0.40	0.16	11.00
26.00	28.40	19.72	7.61	181.54	8.91	3.64	0.09	2.37	0.22	0.14	10.00
26.80	102.90	78.12	7.58	161.94	8.52	3.40	0.16	1.40	0.49	0.39	12.00
26.70	34.50	21.35	7.74	181.54	5.89	3.50	0.10	0.76	0.08	0.10	14.00
27.30	26.00	9.99	7.71	190.83	7.24	3.59	0.08	0.30	0.16	0.12	11.00
29.80	64.80	30.27	7.42	164.41	9.70	1.01	0.31	2.12	0.67	0.21	11.00
25.70	28.50	22.16	7.95	185.20	4.16	3.32	0.08	0.58	0.17	0.06	12.00
28.10	19.91	38.38	7.66	185.48	8.12	2.91	0.03	2.18	0.19	0.16	12.00
27.50	44.10	23.78	7.42	173.07	13.16	3.50	0.07	1.33	0.29	0.09	12.00
27.30	296.00	33.51	7.59	142.45	7.32	2.87	0.11	2.10	0.23	0.22	12.00
25.60	445.00	69.20	7.54	143.93	8.30	3.13	0.08	3.24	0.76	0.97	11.00
29.10	44.10	19.72	7.57	167.05	13.61	3.49	0.06	1.41	0.08	0.18	13.00
26.30	149.50	26.21	7.59	175.03	9.00	3.49	0.05	1.72	0.25	0.31	12.00
27.80	149.10	28.65	7.42	165.77	12.61	3.11	0.08	1.38	0.18	0.22	12.00
27.80	41.20	31.89	7.55	190.46	10.74	3.34	0.06	0.71	0.25	0.21	13.00
27.40	127.40	22.97	7.58	164.80	8.67	4.31	0.06	1.38	0.11	0.76	12.00
28.50	115.50	165.71	7.51	164.74	10.18	2.91	0.07	0.60	0.35	0.65	13.00
28.90	136.00	78.93	7.40	151.64	12.07	3.14	0.09	1.50	0.20	0.45	12.00
26.90	162.40	41.62	7.56	185.15	10.20	3.57	0.08	1.23	0.18	0.42	10.00
26.90	85.40	30.27	7.65	185.18	8.29	3.95	0.14	0.40	0.13	0.21	12.00
27.50	145.70	20.54	7.52	155.44	9.39	2.22	0.28	1.12	0.23	0.23	11.00
28.10	69.20	26.21	7.66	166.98	7.31	3.53	0.10	1.01	0.11	0.11	12.00
28.00	65.40	24.59	7.69	174.88	7.14	3.91	0.12	1.30	0.32	0.13	12.00
28.70	69.50	31.89	7.50	205.66	13.01	3.23	0.11	0.60	0.12	0.13	13.00
26.30	108.90	29.46	7.59	147.88	3.72	2.99	0.14	1.13	0.10	0.15	11.00
27.00	100.40	14.05	7.31	161.95	15.86	3.11	0.10	0.79	0.14	0.11	11.00
25.10	220.00	54.60	7.30	164.26	26.32	2.46	0.09	1.13	0.13	0.09	13.00
26.60	75.80	27.02	7.41	185.14	14.41	2.83	0.04	0.91	0.07	0.16	12.00
26.00	225.00	11.61	7.48	164.65	10.90	3.61	0.09	1.17	0.12	0.08	13.00
26.00	186.30	13.24	7.43	185.33	13.77	2.91	0.05	0.76	0.15	0.10	11.00
26.20	280.00	14.05	7.62	154.41	7.41	4.27	0.05	0.96	0.11	0.18	13.00
27.70	129.60	134.89	7.32	155.44	14.88	4.63	0.07	0.95	0.00	0.06	13.00
26.80	184.50	20.54	7.25	205.71	23.14	4.93	0.06	1.50	0.12	0.12	11.00
26.80	95.60	14.05	7.27	164.16	17.63	3.90	0.08	0.85	1.10	0.09	12.00
26.70	159.60	22.97	7.27	169.29	18.18	3.39	0.08	1.22	0.12	0.11	11.00
27.20	185.40	44.06	7.25	163.32	18.36	2.96	0.09	1.30	0.24	0.13	12.00
26.40	311.00	19.72	7.40	162.90	21.03	2.45	0.04	1.01	0.08	0.17	13.00
29.70	112.00	22.16	7.16	163.07	22.56	2.26	0.13	0.94	0.10	0.10	13.00

26.60	324.00	16.48	7.16	126.93	17.56	2.75	0.10	2.24	0.70	0.25	11.00
28.50	172.21	17.29	7.16	132.30	18.31	2.53	0.16	2.17	0.17	0.44	12.00
27.80	53.10	17.29	7.27	165.36	17.76	3.56	0.10	0.96	0.32	0.10	13.00
27.10	29.80	13.24	7.27	193.44	20.78	2.83	0.07	0.21	0.18	0.20	12.00
27.50	30.20	31.08	7.42	183.25	13.93	3.73	0.08	1.79	0.17	0.20	11.00
26.60	32.10	14.05	7.57	183.54	9.88	2.57	0.11	2.96	0.13	0.07	11.00
26.30	30.50	5.94	7.39	167.96	13.68	3.11	0.01	1.56	0.23	0.06	10.00
27.00	25.10	7.56	7.37	173.06	12.28	1.78	0.06	1.05	0.31	0.04	10.00
27.30	23.60	16.50	7.47	173.05	11.73	2.80	0.09	1.09	0.22	0.09	11.00
27.60	25.90	9.18	7.53	183.37	10.82	3.11	0.07	1.25	0.17	0.04	10.00
27.50	17.25	13.24	7.49	165.51	10.71	3.91	0.05	0.79	0.17	0.04	9.00
26.80	19.08	192.47	7.52	181.86	10.98	3.49	0.06	1.01	0.32	0.04	8.00
26.60	19.93	16.48	7.48	183.41	12.15	3.03	0.09	1.31	0.25	0.08	8.00
25.90	17.57	3.50	7.44	183.54	13.33	2.97	0.07	0.44	0.13	0.18	7.00
26.70	18.80	11.61	7.45	185.91	13.19	4.00	0.09	0.37	0.29	0.05	6.00
27.10	16.38	14.05	7.50	178.29	11.28	3.73	0.08	0.10	0.06	0.04	5.00
26.70	21.70	14.86	7.33	192.28	13.33	2.55	0.11	1.45	0.13	0.04	7.00
27.00	19.86	20.54	7.53	175.77	10.37	3.11	0.12	1.29	0.10	0.10	7.00
27.90	16.90	5.13	7.49	168.18	10.88	3.03	0.15	1.60	0.00	0.03	7.00
27.40	20.40	8.37	7.63	182.12	8.54	2.96	0.08	1.27	0.39	0.04	7.00
28.10	13.61	18.10	7.40	203.44	16.20	2.59	0.14	1.04	0.20	0.11	6.00
28.00	14.11	42.43	7.58	180.85	9.51	2.58	0.10	1.10	0.08	0.07	7.00
27.70	11.40	10.80	7.44	191.25	13.89	2.59	0.11	0.66	0.12	0.06	8.00
28.80	9.43	28.65	7.47	175.26	11.88	2.72	0.07	1.29	0.09	0.18	8.00
29.60	12.39	22.97	7.42	175.79	13.37	1.93	0.06	1.35	0.13	0.05	9.00
28.10	21.70	6.75	7.35	131.96	11.79	2.32	0.06	0.10	0.08	0.12	7.00
28.00	26.00	27.83	7.51	172.20	12.26	2.95	0.10	1.49	0.00	0.13	7.00
29.00	8.26	18.91	7.37	170.44	14.54	1.95	0.09	1.62	0.33	0.23	7.00
29.60	26.80	5.13	7.20	142.75	18.01	1.95	0.11	1.74	0.12	0.09	8.00
26.70	168.00	22.16	7.27	111.70	12.00	2.73	0.14	1.31	0.20	0.13	8.00
28.20	133.00	29.46	7.12	112.01	16.99	2.92	0.13	2.76	0.19	0.38	8.00
27.90	96.80	48.92	7.16	151.64	20.98	2.74	0.11	2.35	0.19	0.27	17.00
28.90	50.40	55.41	7.25	144.02	16.20	2.96	0.09	2.48	0.18	0.35	17.00
27.10	328.00	120.29	7.23	141.22	16.63	2.85	0.15	2.52	0.39	0.06	14.00
28.20	75.30	63.52	7.35	163.07	14.57	2.77	0.10	1.62	0.11	0.26	16.00
28.20	69.50	82.17	7.33	152.91	14.30	2.96	0.12	2.38	0.14	0.43	18.00
26.70	203.00	125.16	7.25	182.70	20.55	3.81	0.12	3.08	0.21	0.05	17.00
27.50	42.20	20.54	7.24	211.63	24.36	2.78	0.28	1.55	0.05	0.11	17.00
27.20	69.80	20.54	6.95	190.57	18.24	3.24	0.21	1.03	0.14	0.14	15.00
27.60	52.20	15.67	7.32	178.13	17.05	3.12	0.11	0.73	0.13	0.06	16.00
27.00	96.90	14.05	7.21	163.07	20.11	3.73	0.14	1.35	0.12	0.08	16.00
26.20	202.00	18.91	7.33	132.59	12.40	3.44	0.00	0.62	0.07	0.08	15.00

28.30	94.20	17.29	7.17	165.10	22.32	2.66	0.07	0.83	0.06	0.37	14.00
26.70	206.00	13.24	7.21	161.80	19.95	3.51	0.04	1.44	0.61	0.13	19.00
28.30	326.00	9.18	7.32	183.21	17.54	3.81	0.08	0.96	0.05	0.38	8.00
27.70	167.00	18.91	7.09	190.31	30.94	3.58	0.06	0.95	0.06	0.15	8.00
26.80	271.00	17.29	7.27	162.65	17.47	3.44	0.07	0.75	0.08	0.13	17.00
27.30	144.00	12.42	7.43	162.91	12.11	4.74	0.08	0.83	0.10	0.07	9.00
28.30	169.00	22.97	7.23	146.16	17.21	2.01	0.09	0.87	0.05	0.12	17.00
28.30	109.00	25.40	7.38	163.92	13.67	2.98	0.09	0.65	0.10	0.09	18.00
28.90	70.70	12.42	7.34	171.54	15.68	2.96	0.08	0.60	0.24	0.10	14.00
24.90	176.00	16.48	7.30	173.06	17.35	3.33	0.07	0.19	0.12	0.27	16.00
28.30	39.30	9.99	7.47	181.69	12.31	2.97	0.06	0.42	0.29	0.08	17.00
28.60	36.10	8.37	7.38	172.80	14.41	2.37	0.11	0.25	0.15	0.01	14.00
28.90	35.60	7.56	7.54	201.99	11.65	2.29	0.11	0.60	0.17	0.00	16.00
28.60	24.70	11.61	7.34	180.42	16.49	2.76	0.14	0.67	0.06	0.10	17.00
27.00	30.50	10.80	7.48	171.54	11.36	2.95	0.14	0.88	0.65	0.19	16.00
27.70	24.90	9.99	7.39	182.95	14.91	2.01	0.12	0.45	0.16	0.14	14.00
27.50	22.20	7.56	7.27	180.42	19.38	2.97	0.11	0.09	0.08	0.85	16.00
26.50	21.50	11.61	7.36	191.84	16.75	2.24	0.09	0.85	0.12	0.07	15.00
25.90	17.40	9.18	7.42	199.40	14.82	1.97	0.06	1.19	0.13	0.08	13.00
25.90	18.50	18.91	7.34	194.91	17.82	1.59	0.15	1.89	0.35	0.05	11.00
27.30	11.00	5.94	7.39	189.93	15.47	1.05	0.12	0.67	0.32	0.08	17.00
27.40	10.70	18.10	7.17	204.88	27.70	1.19	0.19	0.97	0.34	0.13	14.00
26.20	11.80	5.94	7.32	201.14	19.25	1.39	0.09	3.10	0.34	0.05	11.00
26.10	10.10	9.99	7.17	204.88	27.70	1.97	0.14	0.94	0.15	0.05	13.00
27.20	14.60	5.94	7.27	202.39	21.74	1.98	0.08	2.04	0.22	0.09	9.00
27.80	10.30	5.94	7.24	198.65	37.94	1.58	0.09	1.38	0.21	0.06	15.00
28.00	10.30	12.42	7.17	199.90	27.03	1.19	0.18	1.20	0.42	0.05	11.00
27.30	12.90	8.37	7.29	200.90	20.61	1.58	0.10	1.68	0.36	0.07	10.00
27.00	7.62	7.56	7.18	199.40	26.35	0.78	0.13	1.57	0.27	0.04	12.00
27.50	7.39	9.18	7.14	198.65	28.78	0.98	0.80	0.07	0.22	0.13	9.00
28.30	7.01	11.61	7.14	180.96	26.22	0.99	0.15	3.14	0.33	0.04	17.00
25.80	4.99	8.37	7.37	204.88	17.48	1.58	0.72	2.13	0.06	0.08	20.00
29.30	5.76	20.54	7.19	199.90	25.81	1.00	0.21	2.94	0.20	0.11	16.00
27.30	6.97	17.29	7.40	188.68	12.50	0.96	0.53	3.00	0.18	0.08	11.00
29.80	6.85	11.61	7.31	199.90	19.58	1.31	0.39	3.28	0.41	0.08	10.00
26.80	6.99	8.37	7.27	198.00	21.27	0.55	0.20	4.40	0.33	0.04	9.00
29.30	10.60	12.42	7.59	163.35	8.40	0.82	0.20	3.63	0.40	0.14	11.00
26.80	20.50	13.24	7.19	141.08	18.22	0.51	0.30	2.99	0.13	0.12	10.00
25.30	72.50	38.38	7.02	161.37	30.82	1.15	0.20	1.79	0.10	0.17	14.00
27.80	55.40	21.35	7.11	151.47	23.52	1.54	0.14	2.42	0.16	0.19	12.00
26.30	322.00	29.46	7.01	118.80	23.22	1.60	0.21	2.64	0.28	0.09	11.00
23.80	46.50	26.21	7.28	175.97	18.47	0.90	0.15	1.59	0.16	0.10	13.00

26.80	16.20	11.61	7.18	156.17	20.64	0.86	0.13	2.13	0.09	0.04	11.00
27.30	9.72	15.67	7.30	189.59	19.15	0.67	0.11	0.67	0.26	0.12	16.00
27.80	76.30	14.05	7.08	177.21	29.23	1.58	0.27	1.27	0.17	0.10	17.00
25.30	64.40	17.29	7.18	116.57	16.16	1.23	0.23	1.98	0.04	0.11	18.00
23.80	107.00	18.10	7.15	190.82	26.63	1.66	0.27	0.92	0.16	0.09	17.00
26.80	130.00	18.91	7.37	169.79	14.57	2.05	0.21	1.80	0.15	0.06	13.00
27.30	358.00	18.91	7.41	149.99	11.55	2.21	0.15	0.98	0.11	0.10	12.00
26.80	114.00	18.10	7.45	161.12	11.42	3.13	0.12	0.75	0.08	0.09	11.00
26.00	153.00	14.86	7.49	151.47	9.80	1.66	0.07	1.13	0.05	0.09	12.00

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

BIODATA PENULIS



Muhammad Noor, lahir di Bati-bati, 16 Nopember 1986. merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan H. Syarifuddin dan Hj. Rohaniah.

Penulis menempuh pendidikan formal di :

- SDN Barabai Timur 1 (1993-1999)
- MTsN Barabai (1999-2002)
- MAKN Martapura (2002-2005)
- S-1 Teknik Informatika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang (2005-2009).

Tahun 2010 hingga saat ini penulis bekerja sebagai Pegawai Negeri Sipil (PNS) di Kementerian Kesehatan dan ditugaskan di Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Banjarmasin.

Penulis mendapatkan kesempatan melanjutkan pendidikan Magister Teknik Informatika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2018 melalui program Beasiswa Pendidikan Tugas Belajar Sumber Daya Manusia Kesehatan Kementerian Kesehatan.

Pada studi magister, penulis mengambil bidang minat pada topik Dasar dan Terapan Komputasi (DTK). Penulis dapat dihubungi melalui email dengan alamat amadbungass@gmail.com.

[Halaman Ini Sengaja Dikосongkan]