

DETEKSI KEBOCORAN PIPA PDAM MENGUNAKAN MODEL PERANCANGAN PENCARIAN *RUTE* TERPENDEK DENGAN ALGORITMA *DIJKSTRA*

Rahmat Irsyada¹⁾, Hastie Audytra²⁾

^{1,2} Sistem Komputer, Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri, Bojonegoro, Indonesia
email: irsyada.rahmat@unugiri.ac.id¹, hastie@unugiri.ac.id²

ABSTRAK

Kebocoran pipa PDAM merupakan masalah yang besar dan masih banyak yang belum terselesaikan, baik dari segi finansial maupun kekurangan pasokan air untuk pelanggan. PDAM memiliki tempat kontrol di berbagai tempat. Perbaikan pipa di tempat konsumen harusnya dipilih dari bagian kontrol terdekat untuk pengoptimalan waktu pembenahan dan juga tanpa membuang banyak biaya. Permasalahan yang terjadi adalah bagaimana menentukan jarak yang terdekat hingga dapat dipilih bagian kontrol terdekat. Oleh karena itu deteksi kebocoran pipa PDAM menggunakan model perancangan pencarian *route* terpendek dengan algoritma *dijkstra* diharapkan menjadi solusi yang efektif dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasi dan menguji kelayakan program simulasi pencarian *route* terpendek pendeteksi kebocoran pipa PDAM di Bojonegoro menggunakan algoritma *dijkstra*. Tahapan metode penelitian meliputi identifikasi masalah, studi literatur, penentuan metode penelitian, pengembangan program, melaksanakan penelitian, pengolahan data, analisis, kesimpulan. Penelitian ini dilaksanakan di kantor PDAM Bojonegoro dengan subjek yaitu manager dan staf IT yang berwenang dalam pengelolaan teknologi informasi serta masyarakat pengguna PDAM Bojonegoro. Pencarian *route* terpendek dari konsumen PDAM yang mengalami kebocoran pipa ke bagian kontrol yang memperbaiki dapat dilakukan dengan program yang menerapkan algoritma pencarian *dijkstra*, jadi dengan program ini dapat dengan mudah ditentukan node kontrol mana yang terdekat dengan *node* konsumen yang mengalami kebocoran sehingga perbaikan dapat dilakukan dengan optimal tanpa membuang banyak dana. Hasil program ini telah dibandingkan dengan perhitungan manual dan hasilnya sesuai dengan teori dalam algoritma *dijkstra*.

Kata Kunci: Algoritma Dijkstra, Node Kontrol, Node Konsumen, PDAM.

ABSTRACT

PDAM pipe leaks are a big problem and many remain unresolved, both from a financial perspective and from a lack of water supply for customers. PDAM has control points in various places. Pipeline repairs at the customer's site should be selected from the nearest control department to optimize repair time and also without wasting a lot of money. The problem that occurs is how to determine the closest distance so that the closest control section can be selected. Therefore, the detection of PDAM pipe leaks using the design model of finding the shortest route with the *dijkstra* algorithm is expected to be an effective and efficient solution. This study aims to design, implement and test the feasibility of a simulation program to find the shortest route for detecting PDAM pipe leaks in Bojonegoro using the *dijkstra* algorithm. The stages of the research method include; identification of problems, study of literature, determination of research methods, program development, carrying out research, data processing, analysis, conclusions. This research was carried out at the PDAM Bojonegoro office with the subject being IT managers and staff who are authorized in the management of information technology and community users of PDAM Bojonegoro. The search for the shortest route from PDAM consumers who experience pipe leaks to the control section who repairs it can be done with a program that applies the *dijkstra* search algorithm, so with this program it can be easily determined which control node is closest to the consumer node that is experiencing a leak so that repairs can be carried out optimally without wasting a lot of funds. The results of this program have been compared with manual calculations and the results are in accordance with the theory in the *dijkstra* algorithm.

Keywords: Algoritma Dijkstra, Node Kontrol, Node Konsumen, PDAM.

PENDAHULUAN

Kebocoran pipa PDAM merupakan masalah yang besar dan masih banyak yang belum terselesaikan, baik dari segi finansial maupun kekurangan pasokan air untuk pelanggan. Kehilangan sumber air atau *non revenue water* (NWR) menjadi suatu kendala yang umum oleh pihak PDAM di Indonesia. Mayoritas PDAM di Indonesia mempunyai tingkat NRW sebesar 20% - 40%. Kehilangan air mengakibatkan kerugian secara finansial PDAM, serta menyebabkan masalah besar yaitu kurangnya jumlah suplai air kepada pelanggan, sampai tuntutan yang merugikan bagi pelanggan dan akibatnya berpengaruh buruk pada tingkat kinerja dari PDAM [1].

Sampai saat ini upaya penyelesaian dengan mendeteksi kebocoran pipa PDAM masih belum optimal. Masalah kebocoran air ini harus ditangani dengan serius yaitu dengan segera membenahi pipa yang bocor. Namun dalam memperbaiki saluran pipa yang bocor ini haruslah ditentukan dari mana saluran ini diperbaiki. PDAM memiliki tempat kontrol di berbagai tempat. Perbaikan pipa di tempat konsumen harusnya dipilih dari bagian kontrol terdekat untuk pengoptimalan waktu pembenahan dan juga biaya. Permasalahan yang terjadi adalah bagaimana menentukan jarak yang terdekat hingga dapat dipilih bagian kontrol terdekat.

Pencarian *route* optimal selalu dibutuhkan dan digunakan dalam sistem panduan rute seperti pencarian jalur di perkotaan dan implementasi panduan *route* lainnya [2]. Pendeteksi kebocoran pipa secara komputerisasi dapat menggunakan analisis tekanan sebagai penentu adanya kebocoran di suatu pipa [3]. Dalam penelitian lain, deteksi area bocor menggunakan mekanika *fluida* berdasarkan data yang diperoleh menggunakan sensor tekanan dan *Arduino* sebagai *mikrokontroler*. Pada penelitian tersebut telah dikembangkan *prototype* alat deteksi kebocoran pipa, kebocoran tersebut dapat diketahui dengan

menggunakan metode pengukuran tekanan air pada sensor tekanan [4].

Perbaikan pipa yang bocor pada PDAM ini juga dapat memanfaatkan program pencarian *route* optimal untuk mencari bagian kontrol terdekat untuk membenahi. Resolusi untuk pengoptimalan *route* adalah dengan menggunakan algoritma *dijkstra* [5]. Algoritma *dijkstra* merupakan teknik yang bisa memecahkan masalah pencarian alur terpendek yang diberikan *node* ke setiap *node* lain dalam jaringan [6]. Oleh karena itu deteksi kebocoran pipa PDAM menggunakan model perancangan pencarian *route* terpendek dengan algoritma *dijkstra* diharapkan menjadi solusi yang efisien dan efektif.

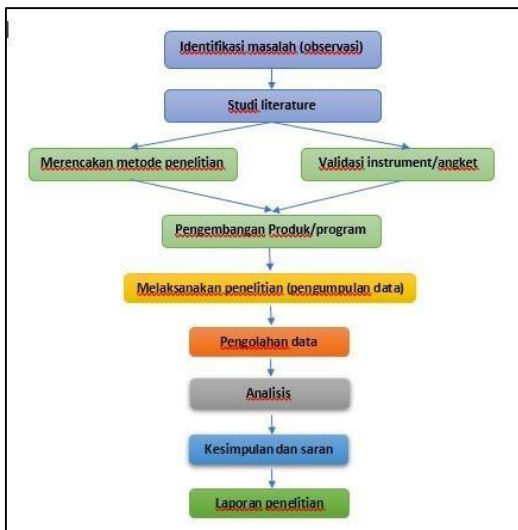
Penelitian tentang permasalahan kebocoran pipa telah dilakukan yaitu pendeteksian letak kebocoran pipa yang dilakukan oleh Rianinda dkk. Penelitian tersebut bertujuan untuk mencari letak kebocoran pipa PDAM yang dilakukan memakai protokol SIGBEE/IEEE 802.15.4 serta platform M2M. Penelitian lain dilakukan oleh Sudarsono, dkk yaitu meneliti penyebab dan lokasi dimana terjadinya kebocoran pipa dengan menggunakan pemetaan tematik jaringan pipa distribusi dan analisis SIG. Namun penelitian tersebut hanya berhenti pada penentuan letak kebocoran pipa tanpa menentukan kontrol mana yang harus memperbaiki kebocoran tersebut. Pada saat musim kering atau kemarau, pipa milik PDAM menjadikan lebih mudah rusak dan mengalami kebocoran. Hal tersebut disebabkan oleh tekanan air dari dalam tanah pada musim kering atau kemarau bisa lebih tinggi dari musim penghujan [7]. Berdasarkan masalah tersebut akan dibuat program untuk menentukan *route* terpendek kebocoran pipa konsumen ke pusat kendali (kontrol) dengan menggunakan algoritma *dijkstra*. Dari *node* konsumen akan dicari *node* kontrol mana yang memiliki jalur terpendek sehingga dapat dipilih *node* kontrol yang akan membenahi kebocoran tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeteksi kebocoran pipa PDAM

menggunakan model perancangan pencarian *route* terpendek dengan algoritma *dijkstra*. Sedangkan manfaat dari penelitian ini adalah meningkatkan efektifitas dan efisiensi penanganan kebocoran pipa PDAM Kabupaten Bojonegoro.

METODE

Tahapan-tahapan yang dilakukan oleh peneliti dalam pengembangan program deteksi kebocoran pipa PDAM menggunakan model perancangan pencarian *route* terpendek dengan algoritma *dijkstra* untuk meningkatkan efisiensi dan efektifitas penanganan kebocoran pipa PDAM kabupaten Bojonegoro yang digambarkan sebagai berikut [8] :



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Metode yang digunakan pada program ini adalah *dijkstra*. Algoritma *Dijkstra* merupakan salah satu varian dari algoritma *greedy*, yaitu salah satu bentuk algoritma populer dalam pemecahan persoalan yang terkait dengan masalah optimasi. Sifatnya sederhana dan lempang (*straightforward*). Sesuai dengan artinya yang secara harfiah berarti tamak atau rakus, namun tidak dalam konteks *negative*. Algoritma *greedy* ini hanya memikirkan solusi terbaik yang akan diambil pada setiap langkah tanpa memikirkan konsekuensi ke depan. Prinsipnya, ambillah apa yang bisa Anda

dapatkan saat ini, dan keputusan yang telah diambil pada setiap langkah tidak akan bisa diubah kembali. Intinya algoritma *greedy* ini berupaya membuat pilihan nilai optimum lokal pada setiap langkah dan berharap agar nilai optimum lokal ini mengarah kepada nilai optimum global

Metode *dijkstra* adalah algoritma untuk menemukan jalur yang paling optimal. Algoritma ini merupakan pencarian jalur terpendek dan biaya minimum, yang menyebabkan wilayah pencarian menjadi mengembang konsentris sehingga memiliki kelemahan yaitu efisiensinya lemah, dan waktu pencarian panjang ketika *node* yang ada begitu besar. Menurut Fuhao (2009:2), kelemahan dari algoritma *dijkstra* adalah bila jumlah *node* sangat besar maka ia akan menempati banyak memori CPU.

Langkah-langkah algoritma *dijkstra* sebagai berikut:

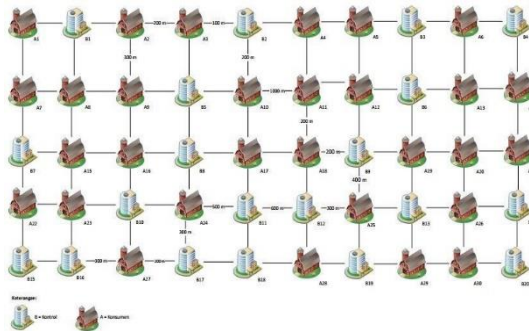
1. Langkah 0 – Tandai titik awal.
2. Langkah 1 – Hitung pergerakan biaya gerakan untuk pergerakan dari titik awal ke setiap *node* yang terhubung ke titik awal dan tandai simpul dimana nilai tersebut adalah yang paling kecil.
3. Langkah 2 – Hitung pergerakan biaya untuk pergerakan antara titik awal dan setiap simpul yang terhubung ke simpul yang ditandai dan tandai simpul yang nilainya paling kecil.
4. Langkah 3 – Ulangi langkah 2 sampai tujuan ditandai.

Nilai yang didapat disini adalah biaya minimum, pergerakan ke tujuan. Selain itu simpul sebelumnya akan disimpan di memori saat menandai sebuah simpul yang memungkinkan untuk mendapatkan jalur terpendek ke tujuan.

Program ini dibuat menggunakan bahasa pemrograman php dan menerapkan algoritma *dijkstra*. Program merupakan program pencarian *route* terpendek kebocoran pipa PDAM. Program ini terdiri dari dua macam *node*, *node* yang pertama adalah *node* kontrol yang diberi nama B dengan indikator *node* berwarna biru, sedangkan *node* lainnya adalah *node* konsumen yang diberi nama A dengan indikator *node* berwarna

orange. Total *node* kontrol dalam program ini berjumlah 20 *node*, sedangkan jumlah *node* konsumen 30 *node*. Program ini nantinya akan mengeluarkan jarak terdekat dari *node* konsumen yang mengalami kebocoran pipa ke *node* kontrol yang akan memperbaikinya. Tujuan pembuatan program ini adalah untuk mempermudah penentuan bagian kontrol mana yang harus memperbaiki kebocoran pipa dari konsumen. Penentuan didasarkan oleh jarak terdekat, karena dianggap akan optimal tanpa membuang banyak biaya.

Pengembangan program diawali dengan proses perencanaan. Perencanaan yang pertama adalah membuat *mapping* letak *node* konsumen dan *node* kontrol beserta jaraknya. *Mapping* ini akan mempermudah proses pembuatan program untuk merubahnya menjadi matriks *adjacency* yang digunakan untuk perhitungan matematis hingga pemetaan lokasi *node* konsumen dan *node* kontrol dalam program yang dibuat [9]. Akan dilakukan penskalaan 1:100 pada pemetaan *mapping* di dalam program. Jadi ketika jarak sebenarnya adalah 100 m maka *mapping* di dalam program adalah berjarak 1. *Mapping* letak *node* konsumen dan *node* kontrol ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Mapping letak konsumen dan kontrol pdam

Matriks Adjacency

Perhitungan menggunakan algoritma *dijkstra* cukuplah rumit. Oleh karena itu, dalam perhitungan dengan algoritma *dijkstra* biasanya diawali dengan pembuatan matriks *adjacency*. Matriks ini

merupakan transformasi mapping yang berisi node dan jarak menjadi tabel berisi jarak dalam bentuk angka yang akan mempermudah dalam perhitungan secara matematis. Matriks *adjacency* ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Matriks Adjacency

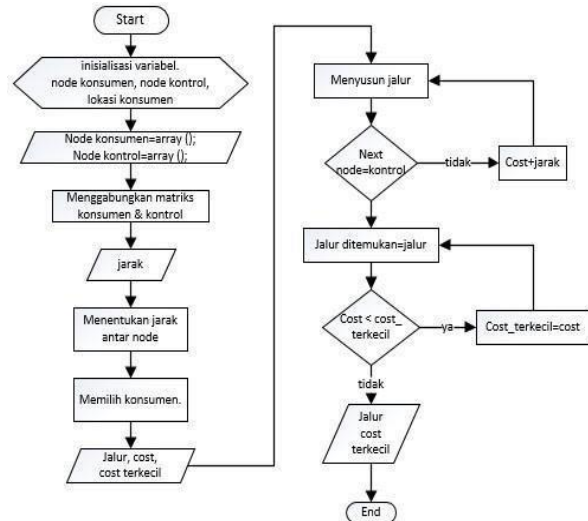
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B
2	3	9	1	1	1	2	2	2	2	9	1	1	1	1	1
			0	1	8	4	5	7			1	2	6	7	
A	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2															
A	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3															
A	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9															
A	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
1					0										
0															
A	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1				0											
1															
A	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
1															
8															
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	3
2															
4															
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	3	0	0
2															
5															
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2
2															
7															
B	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2															
B	0	0	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0
9															
B	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	6	0
1															
1															
B	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	6	0	0	0
1															
2															
B	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
1															
6															
B	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0
1															
7															

Algoritma

Algoritma program penentuan rute terpendek kebocoran pipa konsumen ke kontrol dengan menggunakan teknik penyelesaian masalah algoritma *dijkstra* adalah sebagai berikut:

1. Mulai
2. Inisialisasi variable diantaranya untuk konsumen, kontrol, dan lokasi konsumen.
3. Mendeklarasikan *node* konsumen dan *node* control menjadi *array*
4. Menggabungkan matriks konsumen dan kontrol
5. Mendeklarasikan jarak
6. Memasukkan jarak antar *node*
7. Memilih *node* konsumen yang mengalami kebocoran
8. Mendeklarasikan jalur dan *cost* terkecil
9. Menyusun jalur menggunakan perulangan
10. Terdapat pilihan untuk melihat *node* selanjutnya dalam jalur yang telah disusun dengan menggunakan *rekursif*
 - a. Bila *node* selanjutnya bukan *node control* maka *cost* ditambah dengan jarak dan kembali.
 - b. Bila *node* selanjutnya adalah *node control* maka jalur ditemukan
11. Jalur keseluruhan yang ditemukan di kumpulkan
12. Terdapat pilihan untuk menentukan jalur terpendek
 - a. Bila *cost* lebih kecil dari *cost* terkecil, maka *cost* terkecil dirubah dengan *cost* akan kembali ke penemuan jalur.
 - b. Bila *cost* lebih besar dari *cost* terkecil maka dikeluarkan jalur *cost* terkecil
13. Jalur dan *cost* terkecil ditampilkan
14. Selesai

Penggambaran algoritma program deteksi kebocoran pipa PDAM menggunakan model perancangan pencarian *route* terpendek dengan algoritma *dijkstra* dalam bentuk diagram alir ditampilkan pada Gambar 3 [10]:



Gambar 3. Flowchart program pencarian *route* terpendek kebocoran pipa PDAM

Subjek Penelitian:

Penelitian ini dilaksanakan di kantor PDAM Bojonegoro. Subjek dalam penelitian adalah manager dan staf IT yang berwenang dalam pengelolaan teknologi informasi di PDAM Bojonegoro serta masyarakat pengguna PDAM Bojonegoro.

Instrumen dan teknik pengumpulan data:

Metode dan teknik pengumpulan data pada penelitian ini dilaksanakan dengan cara wawancara, observasi, dan dokumentasi langsung kepada manager dan staf IT yang berwenang dalam pengelolaan teknologi informasi di PDAM Bojonegoro serta masyarakat pengguna jasa PDAM di Bojonegoro. Wawancara dilakukan berdasarkan kuisisioner terkait program optimalisasi letak pusat kendali pipa terhadap kebocoran pipa dengan metode *dijkstra* pada skala *linkert*. Dimana hasil jawaban tersebut disesuaikan dengan kondisi lapangan dengan hasil apakah program tersebut layak untuk diterapkan.

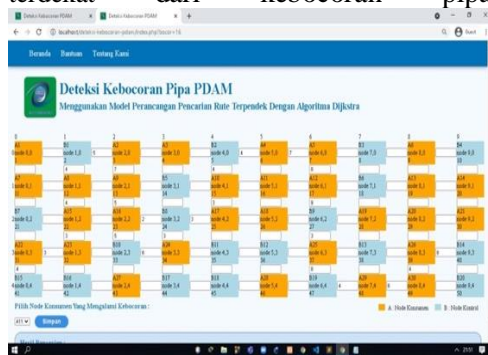
Teknik Analisis Data:

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Analisis data kualitatif ini dilakukan dengan cara menganalisis data hasil dari catatan wawancara, catatan lapangan dan catatan dokumentasi selama

penelitian. Pada tahapan ini juga menganalisis hasil pada tahap sebelumnya sampai dengan diperoleh beberapa kesimpulan apapun yang telah diterapkan dan yang perlu diperbaiki dalam pengembangan program simulasi pencarian *route* terpendek pendeteksi kebocoran pipa PDAM di Bojonegoro menggunakan algoritma *dijkstra* dan juga untuk mengetahui efisiensi penanganan kebocoran pipa PDAM kabupaten Bojonegoro di masa yang akan datang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

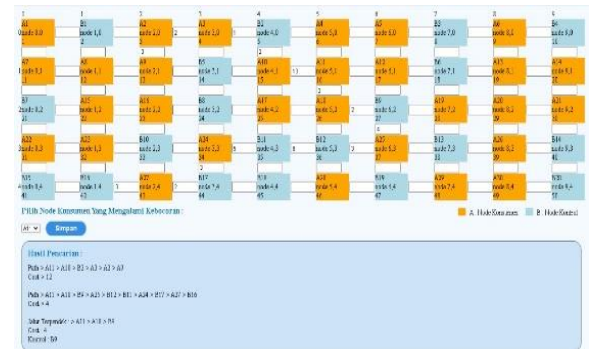
Hasil dari penelitian ini berupa program untuk menentukan *route* terpendek kebocoran pipa dari *node* konsumen ke *node* kontrol dengan menggunakan algoritma *dijkstra*. Dari *node* konsumen akan dicari *node* kontrol yang memiliki jalur terpendek untuk menangani kebocoran pipa konsumen. *Mapping* program dari kebocoran pipa akan ditampilkan pada Gambar 3. *Mapping* program tersebut menunjukkan gambaran dari *route* pipa PDAM yang terdiri dari *node* konsumen (warna orange), *node* kontrol (warna biru), serta jarak masing-masing *node*. Program ini akan meminta *user* untuk memilih letak kebocoran berada pada *node* konsumen yang mana lalu akan terdapat keluaran berupa *node* kontrol mana yang harus memperbaiki kebocoran tersebut, dimana hasil didapat dari pertimbangan jarak terdekat dari kebocoran pipa.



Gambar 4. Mapping dalam program

Dari *mapping* tersebut ditentukan pipa yang bocor berada pada konsumen A11. Hasil dari program yaitu *node* kontrol yang seharusnya dipilih untuk

memperbaiki kebocoran adalah *node* B9, dimana memiliki *cost* sebesar 4 yang masuk ke dalam *cluster* optimal. Sedangkan *node* kontrol yang tidak boleh dilihat untuk memperbaiki kebocoran pipa adalah *node* B16 karena memiliki *cost* tertinggi yang masuk ke dalam *cluster* tidak optimal. Hasil program ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 5. Hasil program

Program pencarian *route* terpendek kebocoran pipa PDAM dengan algoritma *dijkstra* memberikan hasil berupa *route* terpendek adalah kontrol B9 dengan *cost* sebesar 4 dan *route* terpanjang adalah kontrol B16 dengan *cost* sebesar 24. Jadi kontrol yang seharusnya memperbaiki kebocoran pipa adalah kontrol B9 dengan *route* A11 - A18 - B9. Untuk melihat kebenaran program yang telah dibuat maka dilakukan pengecekan dengan membuat perhitungan manual yang nantinya akan dibandingkan dengan hasil dari program.

Perhitungan manual pencaian *route* terpendek kebocoran pipa dengan menggunakan algoritma *dijkstra* yaitu dilakukan dengan cara menandai titik awal yang merupakan titik kebocoran pipa lalu menghitung setiap kemungkinan yang ada menuju *node* kontrol lalu menyeleksi dengan memilih jalur yang memiliki *route* terpendek. *Node* kontrol dengan *node* terpendek tersebut yang akan dipilih untuk mengatasi kebocoran pipa konsumen.

Perhitungan dimulai dengan membuat matrik *adjacency* yang akan mempermudah perhitungan karena menampilkan jarak dari setiap *node* yang ada dalam bentuk tabel. Matriks

adjacency ditampilkan pada Tabel 1. Setelah matrik *adjacency* dibuat barulah dilakukan perhitungan yaitu mencoba setiap jalur yang ada dari *node* konsumen yang mengalami kebocoran menuju semua *node* kontrol. Hasil perhitungan manual ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan manual

Route	Path	Cost	Cluster
A11 – B9	A11 – A18 – B9	4	Optimal
A11 – B12	A11 – A18 – B9 – A25 – B12	11	
A11 – B2	A11 – A10 – B2	12	
A11 – B11	A11 – A18 – B9 – A25 – B12 – B11	17	Kurang Optimal
A11 – B17	A11 – A18 – B9 – A25 – B12 – B11 – A24 – B17	19	
A11 – B16	A11 – A18 – B9 – A25 – B12 – B11 – A24 – B17 – A27 – B16	24	Tidak Optimal

Dalam pencarian *route* terpendek kebocoran pipa PDAM dengan algoritma *dijkstra* ini terdapat 3 macam *cluster* yaitu: (1) optimal, (2) kurang optimal, dan (3) tidak optimal. *Cluster* optimal adalah *route* yang memiliki *cost* terendah, dimana seharusnya *node* kontrol dipilih untuk memperbaiki kebocoran pipa karena memiliki jarak jalur paling rendah. *Cluster* tidak optimal adalah *route* yang memiliki *cost* tertinggi, dimana seharusnya *node* kontrol tidak dipilih karena memiliki jalur yang panjang. Sedangkan *cluster* kurang optimal adalah *route* pertengahan yang tidak memiliki *cost* terendah maupun *cost* tertinggi.

Berdasarkan perhitungan manual tersebut, jarak terpendek adalah *node* kontrol B9 dengan *cost* sebesar 4. Sedangkan jarak terjauh yaitu *node* kontrol B16 dengan *cost* 24. Jadi perhitungan manual dan program sesuai dengan akurasi 100%, yaitu jarak terpendek menuju *node* kontrol B9 dengan *cost* sebesar 4 yang jalurnya yaitu A11 – A18 – B9.

SIMPULAN

Pencarian *route* terpendek dari konsumen PDAM yang mengalami kebocoran pipa ke bagian kontrol yang

memperbaiki dapat dilakukan dengan program yang menerapkan algoritma pencarian *dijkstra*. Algoritma *dijkstra* merupakan metode yang biasa digunakan untuk mencari *route* terpendek. Jadi dengan program ini dapat dengan mudah ditentukan *node* kontrol mana yang terdekat dengan *node* konsumen yang mengalami kebocoran sehingga perbaikan dapat dilakukan dengan optimal tanpa membuang banyak dana. Hasil program ini telah dibandingkan dengan perhitungan manual dan hasilnya sesuai dengan teori dalam algoritma *dijkstra*.

SARAN

Penelitian ini masih memerlukan beberapa pengembangan, diantaranya adalah penambahan titik kontrol (*node* kontrol) dan titik konsumen (*node* konsumen) diharapkan bisa ditambahkan secara dinamis, tidak melalui *coding*. Penamaan *node* kontrol dan *node* konsumen bisa dikembangkan lagi dengan menyesuaikan nama lokasi di daerah masing-masing.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terimakasih kepada Allah SWT dan kepada pihak yang selalu mendukung penelitian ini, diantaranya adalah pihak PDAM Bojonegoro, Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri Bojonegoro, dan bantuan dana penelitian Ristekdikti sehingga penelitian ini bisa terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Semoga penelitian ini bermanfaat dan terus dikembangkan seiring perkembangan teknologi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pedukung Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum. 2015. Kierja PDAM 2015. Jakarta : Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- [2] Zhen, Fan yue, dkk. 2010. *An improved dijkstra algorithm used on vehicle optimization route planning*. 2010 2nd international conference on computer engineering and technology.

- [3] Anugrah, tri, dkk. 2014. *Sistem Deteksi Kebocoran pada Jaringan Pipa Air PDAM Menggunakan Analisis Tekanan dengan Metode Support Vector Machine*. Jurnal Tugas Akhir Teknik Informatika 2014.
- [4] Rijal, Rifan Syah (2018) *Rancang Bangun Alat Deteksi Kebocoran Pipa Distribusi Air Berbasis Sensor Tekanan Dan Mikrokontroler*. Diploma thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [5] Fuhao, Zhang. 2009. *An Algorithm of shortest path on Dijkstra for huge data*. Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery.
- [6] Liu, Big, dkk. 1994. *Finding the Shortest Route Using Cases, Knowledge, and Dijkstra's Algorithm*. IEEE (0885-9000/94.S4.00).
- [7] <http://www.lintasbojonegoro.com/ini-sebab-pipa-pdam-rentan-bocor-saat-musimkemarau/>, diakses pada 14 agustus 2020.
- [8] Jong Jek Siang. 2004. *Matematika Diskrit dan Aplikasinya pada Ilmu Komputer*, Yogyakarta: Andi.
- [9] Aprian, Raden. 2010. *Perbandingan Algoritma Dijkstra dan Algoritma Floyd-Warshall dalam Penentuan Lintasan Terpendek (Single Pair Shortest Path)*. Makalah If2251 Strategi Algoritmik.
- [10] Joni, Luh. 2010. *Pencarian rute terpendek tempat wisata di bali dengan Menggunakan algoritma Dijkstra*. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2010 (SNATI 2010).
- [11] Musfidar, Buyamin dan Al Ghazaly. 2013. *Skripsi: Sistem Deteksi Kebocoran Air pada Jaringan Pipa Menggunakan Analisis Tekanan dengan Metode Artificial Neural Network (ANN) Algoritma Radial Basis Function*. Universitas Hasanuddin.
- [12] Byun H, Lee S W. 2003. *A Survey on Pattern Recognition Applications of Support Vector Machines*. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Vol.17, No.3, pp.459-486.
- [13] Tsuda K. 2000. *Overview of Support Vector Machine*. Journal of IEICE, Vol.83, No.6, pp.460-466.
- [14] Nugroho, Anto Satrio. 2003. *Support Vector Machine: Teori dan Aplikasinya dalam Bioinformatika*. IlmuKomputer.com (.pdf)
- [15] Prasetyo, Eko. 2012. *Data Mining: Konsep dan Aplikasi menggunakan Matlab*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- [16] Novandi, Raden Aprian Diaz. 2007. *Perbandingan algoritma dijkstra dan algoritma Floydwarshall dalam penentuan lintasan terpendek (single pair shortest path)*. ITB : strategi algoritmik tahun 2007.
- [17] Sudarsono, dkk. 2013. *Pemanfaatan Pemetaan Tematik untuk Analisis Kebocoran Jaringan Pipa Distribusi di PDAM Demak*. Teknik Vol 34 No 3 Tahun 2013. ISSN 0852-1697.
- [18] Noto, Masato dan Sato, Hiroaki. 2000. *A method for the shortest path search by extended dijkstra alhorithm*. IEEE (0-7803-6583-6).
- [19] Rianinda, dkk. 2015. *Perancangan Prototipe Sistem Pemantau Kebocoran pada Pipa Distribusi Air Menggunakan Protokol SIGBEE/IEEE 802.15.4 dan Platform M2M*. eProceeding of Engineering Vol 2 No 2 Tahun 2015. ISSN : 255-9365.
- [20] Liu, Big, dkk. 1994. *Finding the Shortest Route Using Cases, Knowledge, and Dijkstra's Algorithm*. IEEE (0885-9000/94.S4.00).