

# **STUDI BEBERAPA KRITERIA *HYDRAULIC CRITICAL INDEX* (*LINK IMPORTANCE*) PADA JARINGAN PIPA**

**Radiana Triatmadja**

Pengelola Program Studi Magister Pengelolaan Sumberdaya Air  
Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik UGM  
Jl. Grafika No. 2, Kampus UGM, Yogyakarta  
Email : radiantatoo@yahoo.com

## **ABSTRAKSI**

Link importance atau Hydraulic Critical Index (HCL) adalah indikator yang sangat penting untuk mendesain, mengoperasikan dan memelihara jaringan pipa distribusi. Nilai HCL tinggi menunjukkan bahwa pipa tersebut sangat penting dan kualitas pipa menentukan keberhasilan jaringan, sehingga material, kekuatan, kualitas dan instalasi pipa harus didesain dengan standar yang tinggi, juga diprediksi melalui monitoring dan evaluasi.

HCL dihitung menggunakan dua kriteria, yaitu didasarkan pada nilai tertentu tekanan relatif pada node, dan berdasarkan kisaran nilai tekanan relatif. Jika tekanan relatif suatu node lebih tinggi daripada nilai tertentu, node dianggap sebagai dilayani penuh. Kedua HCL memberikan hasil yang berbeda dalam memberikan informasi dan interpretasi terhadap unjuk kerja jaringan distribusi.

Dalam tulisan ini, HCL dengan perbedaan kriteria ini dipelajari dan dibandingkan. Simulasi sistem jaringan loop dan cabang dilakukan untuk meneliti perbedaan antara kedua kriteria dalam jaringan yang sesungguhnya. Dalam studi ini hanya ditekankan secara beberapa permasalahan yang dihadapi jika menggunakan kriteria-kriteria tersebut. Kesimpulan, jika tekanan relatif tidak tersedia, maka lebih relevan jika menggunakan range head criteria.

Kata kunci: Resiko, Manajemen, Distribusi air minum, Layanan

## **ABSTRACT**

Link importance or Hydraulic Critical Index (HCI) is a very important indicator for designing, operating and maintaining pipe distribution network. High value of HCI indicates that the pipe is very important and the network depends largely on the quality of the pipe. In this case HCI help the engineer to decide which pipes that should be replaced or repaired depending on their contribution to the network performance.

HCI may be calculated based on two different criteria. The first criteria are based on fixed value of relative head at nodes (Fixed head criteria) and the second, is based on range value of relative head at node (range head criteria). The two HCI resulted in different information and interpretation of the network distribution performance.

In the paper, the HCI of different criteria were studied and compared. Simulation of loop and branch network system is conducted to investigate the different between the two criteria in real networks. Although more complex network may be simulated, the study may in general highlight some issues to be concerned when using either one of the criteria. In general, when relative energy head is not required, range head criteria are more relevant.

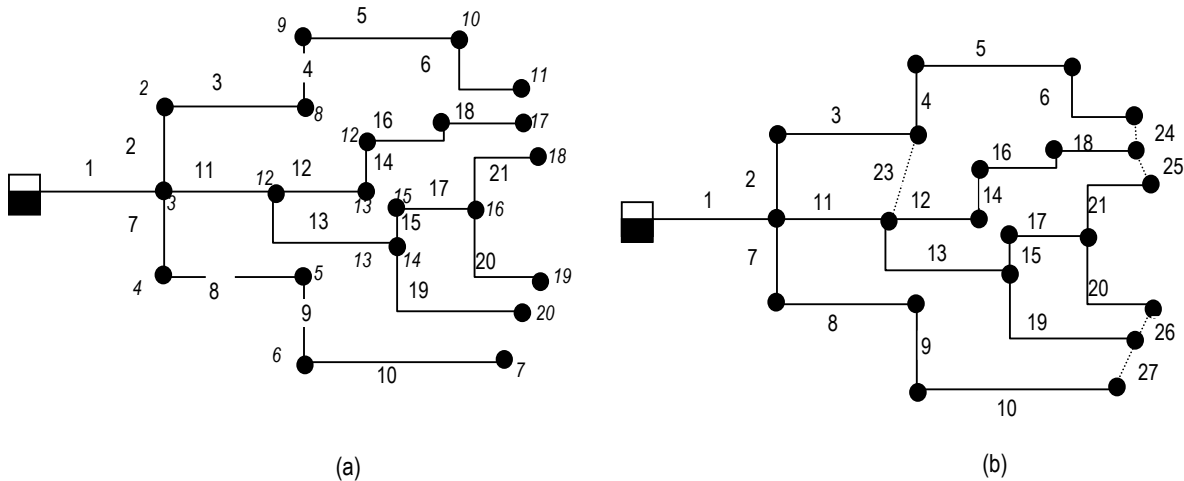
Keywords : Risk, Management, Water distribution, Service

## **1. PENDAHULUAN**

Jaringan air minum perpipaan dapat dibuat bercabang-cabang atau saling berhubungan membentuk loop. Jaringan air minum berbentuk percabangan mungkin lebih menguntungkan dalam hal material pipa yang harus diinvestasikan. Namun demikian, jika salah satu pipa utama rusak dan berhenti bekerja, semua daerah layanan di hilir pipa tersebut tidak terlayani. Perhatikan Gambar 1.

Semua node pada Gambar 1a dan 1b dianggap melayani kebutuhan 1 l/s. Kebutuhan layanan total 20 l/s. Pada Gambar 1a, dan 1b semua node layanan sangat tergantung pada pipa nomer 1.

Kalau pipa ini rusak atau harus diperbaiki maka layanan air minum ke seluruh pelanggan berhenti total. Ini berarti bahwa *Hydraulic Critical Index* (HCI) pipa 1 adalah 100%. Pipa 2 pada Gambar 1a melayani node nomer 2,8,9,10, dan 11. Node-node tersebut hanya dilayani oleh pipa nomer 2. Jika pipa ini terputus atau dalam perbaikan maka node 2,8,9, dan 10 tidak dapat terlayani atau kebutuhan sejumlah 5l/s tidak terlayani. Kebutuhan ini dibanding produksi total sebelum kerusakan pipa 2 mencapai 25%. Atau dengan kata lain pipa 2 mempunyai HCI = 25%. Ini merupakan perkiraan hitungan yang sangat sederhana yang dapat diterapkan untuk HCI. Dari uraian di atas, dapat dibayangkan bahwa suatu rancangan mungkin saja menemui pilihan diameter dan tata letak jaringan pipa. Dalam hal seperti ini, HCI perlu mendapat perhatian untuk memperoleh resiko operasional yang optimal. Selain itu pada saat operasional, monitoring dan evaluasi pipa merupakan input yang sangat penting dalam manajemen yaitu perencanaan perbaikan dan penggantian untuk menurunkan resiko.



**Gambar 1. (a) Jaringan bercabang, (b) Jaringan loop**

Permasalahan hitungan HCI dan standar penghitungannya menjadi tidak mudah jika jaringan pipa berupa loop atau pada awalnya memang tidak 100% berfungsi dengan baik (tidak sesuai dengan kapasitas rencana). Jika pada awalnya jaringan pipa bercabang (Gambar 1a) tidak sempurna melayani kebutuhan pelanggan, misalnya hanya mampu melayani 15 l/s dengan sisa tekanan rendah (dibawah kriteria layanan), maka setelah pipa 2 tidak berfungsi, sisa tekanan pada node yang lain akan meningkat. Jika sisa tekanan merupakan kriteria dari tingkat layanan, maka setelah pipa 2 tidak berfungsi, tingkat layanan jaringan pipa Gambar 1a turun tidak sebesar hitungan semula.

Pada jaringan *loop* seperti Gambar 1b yang dibuat sama seperti Gambar 1a kecuali pipa penghubung nomer 23, 24, 25, 26 dan 27, jika pipa 2 rusak atau sedang diperbaiki atau tidak berfungsi maka kehilangan layanan pada node nomer 2,8,9,10, dan 11 tidak separah pada jaringan jenis bercabang seperti pada Gambar 1a. Kebutuhan pada node 2,8,9,10 dan 11 mungkin masih dapat dilayani melalui pipa penghubung 23 dan 24. Jumlah kebutuhan yang dapat dilayanan serta sisa tekanan yang terjadi pada node-node tersebut sangat tergantung pada pipa penghubung 23 dan 24 serta pipa-pipa lain yang terkait. Hitungan berkurangnya tingkat layanan menjadi lebih sulit yaitu dengan menghitung kembali hidraulika jaringan pipa Gambar 1b dengan meniadakan pipa 2.

Dari pembahasan di atas, tampak bahwa kriteria HCI diperlukan untuk memberikan paham yang sama yang memberikan pengetahuan atau informasi yang sama untuk pengembangan maupun manajemen jaringan air minum perpipaan. Kriteria yang dimaksud diantaranya terkait dengan beberapa hal berikut di bawah.

- a) Berapa tekanan yang disyaratkan sebagai terlayani penuh

- b) Bagaimana menghitung tingkat layanan jika debit dan tekanan yang disyaratkan tidak dipenuhi (tekanan kurang tetapi air masih tetap memenuhi kebutuhan)
- c) Bagaimana menghitung tingkat layanan jika pada jam-jam tertentu debit dan sisa tekanan terpenuhi dan pada jam-jam lain debit atau sisa tekanan tidak dipenuhi
- d) Apakah pengurangan layanan diperkenankan untuk meningkatkan tekanan

Kriteria yang digunakan, terkait dengan isu di atas sangat besar pengaruhnya pada standar kualitas layanan. Misalnya di sebuah negara maju, tekanan minimum pada node harus di atas 35m sedang di negara sedang berkembang hanya sekitar 10m. Di negara maju, persyaratan sisa tekanan juga dikaitkan dengan penggunaan hidran pemadam kebakaran sementara di negara sedang berkembang hidran kebakaran seringkali belum merupakan isu yang harus dikaitkan dengan layanan air domestik..

Di Indonesia, fluktuasi kebutuhan air minum selama satu hari cukup besar dengan kebutuhan maksimum sekitar 2 kali kebutuhan rerata. Kebutuhan minimum bisa sangat kecil dan mendekati nol. Fluktuasi kebutuhan antar daerah distribusi juga belum tentu sama. Misalnya suatu lokasi perhotelan, industri yang menggunakan air bisa sangat berbeda dengan daerah perumahan. Pada sistem jaringan air minum yang kurang baik, tidak semua daerah layanan dapat dilayani dengan sisa tekanan yang mencukupi. Setelah terjadinya kerusakan pada salah satu pipa, ada kemungkinan bahwa daerah yang terlayani dengan sisa tekanan yang cukup justru bertambah. Jika kriteria didasarkan pada jumlah debit dan sisa tekanan maka ada kemungkinan bahwa pipa yang terputus justru menambah tingkat layanan. Kriteria yang demikian memberikan informasi yang merekomendasikan untuk menutup saja pipa tertentu dan tidak melayani daerah di hilirnya. Jika tidak ada kriteria lain selain sisa tekanan maka pipa yang dibahas perlu segera ditutup atau perencanaan jaringan secara keseluruhan segera diperbaiki. Makalah ini selanjutnya membahas kriteria HCI dan pengaruh pada kebijakan yang diakibatkannya.

## 2. KRITERIA *HYDRAULIC CRITICAL INDEX*

HCI atau *Hydraulic Critical Index* mulai diperkenalkan beberapa tahun yang lalu sebagai bagian integral dari perencanaan dan operasional jaringan pipa. Kemampuan alat hitung dan software computer yang semakin canggih memberikan kemungkinan penghitungan HCI dengan sangat mudah dan cepat. Dengan kombinasi berbagai parameter yang lain maka perhitungan resiko kerusakan pipa dan saat terbaik penggantian pipa dapat diprediksi dengan lebih mudah dan akurat. HCI dapat didasarkan pada fixed head atau *range head*. Kriteria Absolut head berarti sisa tekanan dalam pipa dianggap sebagai acuan *fixed*. Artinya jika sisa tekanan dalam pipa pada suatu node kurang dari acuan tekanan *fixed*, maka node tersebut dianggap tidak melayani sama sekali. Kriteria *range head* berarti sisa tekanan pada node digunakan untuk menghitung layanan pipa. Layanan pipa dapat dihitung dengan Persamaan 1.

### 2.1. Kriteria Berdasarkan Sisa Tekanan Minimal Absolut

Kriteria ini sangat sederhana namun belum tentu sesuai dengan kondisi yang distudi. Beberapa diantaranya adalah:

#### Kriteria 1 :

$$HCI_{(A)} = \frac{Q_o - Q_m}{Q_t} 100\% \quad (1)$$

dengan :

- $Q_o$  = Debit terlayani saat jaringan lengkap
- $Q_m$  = Debit terlayani jika tanpa pipa yang dihitung

$Q_t$  = Debit total yang dikehendaki

### Kriteria 2 :

Lebih sederhana dari Kriteria 1, Nafi, Werey, Llerena (2006) menyatakan bahwa

$$HCI_{(B)} = \frac{Q_o - Q_m}{Q_o} 100\% \quad (2)$$

dengan :

$Q_o$  = Debit terlayani saat sebelum pipa j rusak  
 $Q_m$  = Debit terlayani setelah pipa j tak berfungsi

## 2.2. Kriteria Berdasarkan Sisa Tekanan *Range Head*

### Kriteria 3 :

Berbeda dengan kriteria berdasarkan sisa tekanan secara absolut, maka sisa tekanan *range* juga dapat digunakan untuk indikator tingkat layanan jaringan. Yang dimaksud *range* di sini adalah terhadap sisa tekanan minimal yang disyaratkan. Misalnya sisa tekanan ideal yang disyaratkan adalah  $P_o$  sedang sisa tekanan minimal yang masih dapat diterima adalah  $P_1$ , maka HCI dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3 (Triatmadja, 2008).

$$HCI_{(C)} = \frac{\sum P_o Q_o - \sum P_m Q_m}{Q_T} \quad (3)$$

dengan :

$Q_o$  = Debit terlayani saat jaringan lengkap (kondisi ideal) pada node o  
 $P_o$  = Tekanan layanan saat jaringan lengkap pada node o  
 $Q_m$  = Debit terlayani jika tanpa pipa yang dihitung pada node m  
 $P_m$  = Tekanan layanan jika tanpa pipa yang dihitung pada node m  
 $P_m = 0$  jika  $P_m < P_1$   
 $P_m = P_0$  jika  $P_m \geq P_0$   
 $Q_t$  = Debit total yang dikehendaki

## 3. PERBANDINGAN BEBERAPA KRITERIA HCI

Kriteria 1 (Persamaan 1) menganggap bahwa jaringan air minum perpipaan tidak selalu sempurna sehingga jumlah HCI pada pipa transmisi tidak selalu mencapai 100%. Yang dimaksud pipa transmisi adalah pipa penghubung antara sumber air dengan daerah distribusi, sebelum air didistribusikan. Jadi seluruh kebutuhan air minum harus melewati pipa transmisi tersebut yang jumlahnya mungkin lebih dari satu.

Pada saat selesai dikonstruksipun, HCI pipa transmisi mungkin kurang dari 100% jika dihitung dengan kriteria 1. Hal ini terjadi karena usaha optimasi beberapa sumberdaya misalnya ekonomi masyarakat dipertimbangkan dalam perencanaan jaringan air minum perpipaan.

Kriteria 1 dapat pula digunakan sebagai indikator kesehatan PDAM. Jika HCI(A) pipa transmisi sama dengan 100% berarti semua node dipenuhi kebutuhannya dengan tekanan yang disyaratkan. Dengan demikian, secara teknis jaringan SPAM tersebut sehat dan mungkin dapat dikembangkan untuk pelayanan daerah lain. Jika HCI(A) pipa transmisi kurang dari 100% misalnya hanya 50%, maka jaringan tersebut kurang sehat secara teknis dan tidak mungkin dikembangkan untuk memberikan layanan bagi daerah lain. Jaringan dengan HCI(A) pipa transmisi <50% mungkin harus dibenahi dari masalah teknis (terlalu banyak yang dilayani tetapi pipa terlalu kecil, sumber air tidak mencukupi, banyak terjadi bocoran dan sebagainya).

HCI(A) pipa transmisi yang rendah bukan berarti bahwa debit atau layanan pada pelanggan kurang dari kebutuhan pelanggan. HCI(A) pipa transmisi yang kurang dari 50% pun masih mungkin melayani kebutuhan air minum pelanggan 100%. Hal ini karena layanan pada pelanggan dengan sisa tekanan di bawah persyarata (misalnya 10m) dianggap nol atau tidak dilayani sama sekali. Padahal dalam kondisi tertentu, Sisa tekanan di atas 5m masih mampu memberikan layanan debit dengan cukup baik.

Permasalahan menjadi lebih rumit jika yang digunakan adalah layanan pada jam puncak. Pada jam tersebut, ada kemungkinan seluruh jaringan mempunyai sisa tekanan di bawah 10m misalnya hanya 5 sampai 9 meter. Dengan demikian seolah-olah HCI(A) pipa transmisi pada system jaringan pipa tersebut tidak dapat melayani sama sekali atau HCI(A) pipa transmisi = 0%. Selain jam puncak, dimungkinkan HCI(A) pipa transmisi system jaringan pipa tersebut mencapai 100%. Dengan demikian sebenarnya ada kesalahan persepsi terhadap layanan air minum yang sebenarnya (kecuali jika sisa tekanan tersebut memang sama sekali tidak dapat digunakan oleh pelanggan). Sebaliknya jika HCI(A) didasarkan pada kebutuhan minimum, maka kemungkinan besar HCI(A) pipa transmisi mencapai 100%. Tetapi ini juga tidak memberikan informasi yang benar, karena kebutuhan air minum pada saat jam minimum mungkin kurang dari 25% dibanding saat jam puncak. Jika HCI(A) dihitung pada jam rerata, maka hasil penghitungan mungkin lebih mendekati kondisi yang benar, walaupun tidak seluruhnya tepat akibat adanya fluktuasi kebutuhan. Dengan Persamaan 2, Nafi dkk menganggap bahwa kondisi sebelum terjadi kerusakan adalah kondisi optimal yaitu tingkat layanan 100%. Misalnya standar tekanan layanan adalah 10 m dan sebuah node dilayani 5 l/s dengan tekanan 4 m, berarti tingkat layanan pada node tersebut =40% (=4/10X100%). Rasanya  $Q_0$  harus diartikan sebagai debit terlayani saat jaringan operasional pertama kali saat operasi sesuai dengan kriteria desain. Dengan demikian HCI(B) untuk setiap pipa dapat selalu dibandingkan dengan referensi kondisi awal saat jaringan mulai dioperasikan. Jika tidak demikian dan  $Q_0$  berubah-ubah tergantung awal penghitungan HCI, maka kriteria 2 tidak banyak manfaatnya karena tidak dapat digunakan sebagai acuan. Pada kriteria 1, hasil hitungan HCI(A) untuk pipa transmisi belum tentu 100%. Demikian pula kriteria 2, HCI (B) pipa transmisi belum tentu 100%, jika  $Q_0$  yang dimaksud dalam penyebut  $Q$  yang ideal pada saat jaringan pipa direncanakan.

Keuntungan *fixed head* adalah menjamin tekanan dalam jaringan secara keseluruhan di atas acuan yang ditetapkan namun kerugiannya adalah memberikan informasi yang salah jika sisa tekanan sedikit di bawah sisa tekanan yang disyaratkan. Dengan kriteria sisa tekanan *range* (Persamaan 3), maka kesalahan informasi tersebut dikurangi yaitu dengan memberikan kisaran sisa tekanan. Pada sisa tekanan yang sangat rendah sehingga tidak memungkinkan lagi untuk memberikan layanan maka layanan dianggap nol (sama sekali tidak melayani).

Sepintas Persamaan 3 menjelaskan HCI(C) dengan akurat dan lebih teliti. Namun demikian masih ada permasalahan yang terlihat dari Kriteria 3 tersebut. Permasalahan 1, dengan menurunkan  $Q$  pada beberapa node, maka sisa tekanan pada node-node tertentu dapat dinaikkan. Dengan demikian Kriteria 3 dapat menghasilkan nilai yang berbeda jika  $Q$  pada node-node tertentu diperkenankan untuk diubah. Nilai HCI(C) tergantung pada  $\sum PQ$ . Permasalahan ini juga terjadi pada Kriteria 1 dan Kriteria 2. Bahkan pengaruh perubahan  $Q$  lebih signifikan pada Kriteria 1 dan 2 dibanding Kriteria 3. Sebuah contoh adalah sebagai berikut di bawah.

Suatu jalur system jaringan air minum perpipaan dianggap melayani hanya satu node sebesar 10 l/s. Sisa tekanan pada node tersebut 11 m. Dengan kriteria 1 dan 2 dan syarat sisa tekanan minimum misalnya 10 m. Dengan mudah dapat dihitung bahwa HCI pipa tersebut adalah 100%. Kehilangan energi sepanjang pipa dapat ditulis dengan :

$$h_f = KQ^2 \tag{4}$$

Jika suatu saat  $K$  naik menjadi 1,5 kali lipat, maka pipa tersebut dianggap sama sekali tidak memberikan layanan. Namun demikian jika  $Q$  boleh dikurangi menjadi 0.8 kali  $Q$  semula, maka sisa tekanan dapat dijaga konstan. Jadi pipa masih dianggap melayani 80%. Kedua hasil hitungan di atas sangat berbeda dan memberikan informasi yang sangat berbeda serta tindakan manajemen yang sangat berbeda pula. Dapat dan tidaknya (dalam kenyataan)  $Q$  diatur atau dikurangi hingga tinggal 80%, sangat tergantung pada system yang terpasang yaitu dengan cara memberikan giliran. Dalam hal ini diperlukan katup-katup yang dipasang di lokasi-lokasi yang tepat untuk tujuan penggiliran dan dapat diatur dengan mudah dengan kontrol jarak jauh sehingga perubahan dapat dilakukan dengan cepat. Selanjutnya perbandingan antara Kriteria 1, 2 dan 3 diberikan pada Tabel 1.

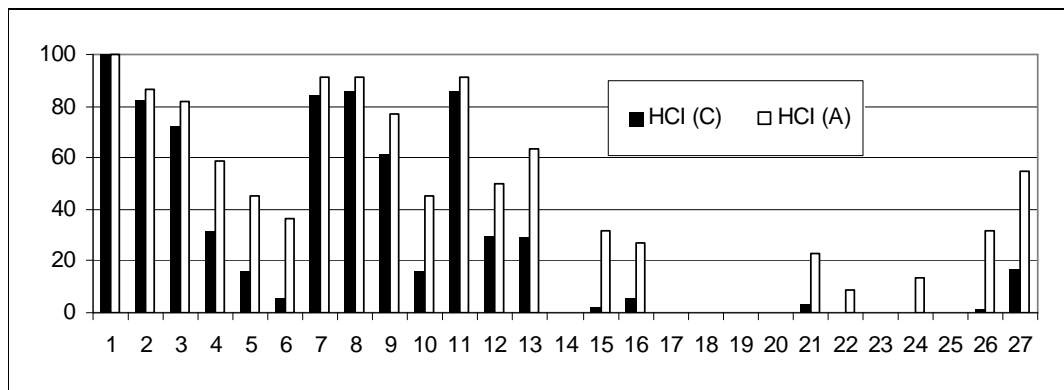
**Tabel 1. Perbandingan Kriteria HCI**

No	Isu	Kriteria 1	Kriteria 2	Kriteria 3
1	Selisih layanan antara layanan penuh dan layanan tak penuh	Sama dengan kebutuhan yang dilayani	Sama dengan kebutuhan yang dilayani	Tergantung pada sisa tekanan yang masih diijinkan
2	Pengaruh perubahan debit layanan pada HCI	Lebih Signifikan	Lebih Signifikan	Kurang signifikan
3	Kesalahan interpretasi HCI	Lebih besar	Lebih besar	Kurang

#### 4. SIMULASI HCI PADA JARINGAN AIR MINUM PERPIPAAN

Untuk mempelajari pengaruh Kriteria HCI, berikut dilakukan simulasi jaringan pipa pada Gambar 1. Semua node pada Gambar 1 diberi kebutuhan 2 l/s. Panjang semua pipa 1000 m, kehilangan energi sekunder diabaikan, diameter semua pipa 0,15 m, elevasi semua node +100m kecuali reservoir yang mempunyai elevasi +200m.

Simulasi HCI dilakukan dengan Software WaterNet. Lebih jauh tentang WaterNet diberikan dalam Triatmadja (2007). Dengan dua kriteria HCI (HCI(A) dan HCI(C) diperoleh hasil yang diberikan pada Gambar 2.



**Gambar 2. HCI Jaringan pipa loop (Gambar 1b)**

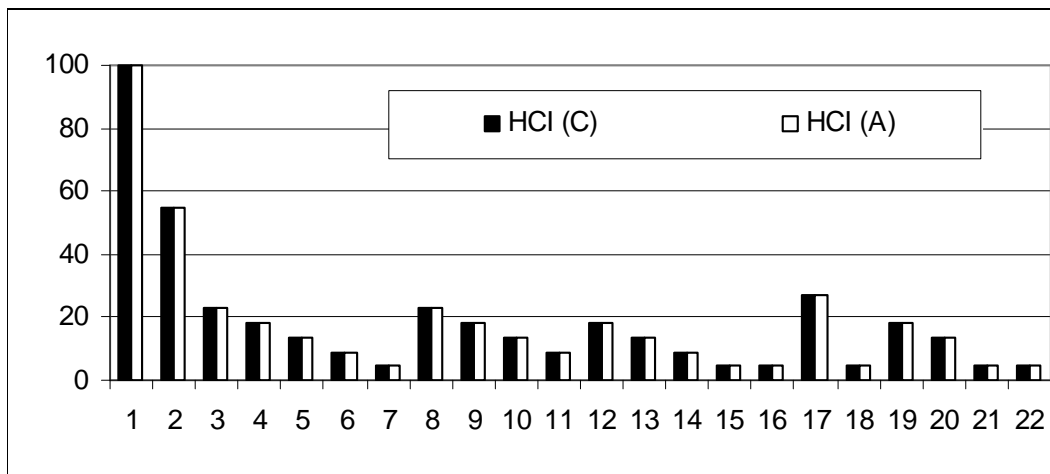
Perhatikan pada Gambar 3 terdapat beberapa pipa dengan HCI yang sangat berbeda dengan kedua kriteria yang dibahas. Pipa nomer 6, 15 dan 26, sebenarnya sangat sedikit pengaruhnya pada tingkat layanan jika digunakan kriteria HCI(C) namun menjadi sangat penting dengan HCI di atas 30% jika digunakan HCI (A). Hal ini karena penurunan sisa tekanan pada 8 atau 9 node walaupun hanya sedikit di bawah 10m telah dianggap tidak melayani. Jadi jika digunakan kriteria sisa tekanan

*fixed*, interpretasi HCI menjadi tidak tepat. Dengan interpretasi HCI(A) maka pipa 6, 15, 16, dan 26 menjadi penting dalam rangka operasional dan perawatan.

Pipa-pipa tertentu dengan HCI(C) yang sudah cukup besar, lebih mendekati harga HCI(A). Hal ini karena pipa-pipa dengan HCI (C) tinggi pasti memiliki HCI(A) yang lebih tinggi. Tetapi karena harga maximum HCI hanya 100%, maka kedua kriteria akan menghasilkan HCI yang hampir sama.

Selanjutnya simulasi untuk menghitung HCI jaringan pipa Gambar 1a dilakukan dengan cara yang sama. Namun demikian pada simulasi ini semua diameter pipa diperbesar menjadi 0,15 m. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3 tampak bahwa HCI(A) maupun HCI(C) sama besarnya. Hal ini terjadi karena 2 hal. Yang pertama, karena sisa tekanan pada seluruh node masih di atas standar (10m). Sehingga dengan pemutusan beberapa pipa tekanan di beberapa node naik dan tidak ada yang turun. Yang kedua, karena pipa bercabang (tanpa loop), maka jika salah satu pipa tertutup, node di sebelah hilir pasti tidak terlayani. Dengan demikian baik dihitung dengan kriteria sisa tekanan *fixed* maupun sisa tekanan *range*, HCI semua pipa pada kedua jaringan tetap sama.

Jika sebagian pipa diperkecil diameternya, dan pada saat awal semua pipa terpasang dengan baik layanan pada beberapa node sudah tidak memenuhi syarat yaitu dengan sisa tekanan di bawah 10 m (di atas nol). Misalnya semua pipa pada jaringan berdiameter 0,125 kecuali pipa 11 berdiameter 0,15. Pada saat simulasi diperoleh sisa tekanan pada node 17, 18, 20 dan 23 di bawah 10m. Dengan demikian HCI(A) pipa utama (pipa nomer 1) tidak mencapai 100%. Dalam hal ini maka HCI pipa bisa berharga positif bisa juga negatif. Pemutusan pipa mungkin saja berakibat peningkatan sisa tekanan pada node lain yang sebelumnya mengalami sisa tekanan di bawah standar. Gambar 4 menunjukkan hasil hitungan HCI pada jaringan pipa Gambar 1a menggunakan 2 kriteria HCI.



**Gambar 3. HCI Jaringan pipa bercabang pada Gambar 1a.**

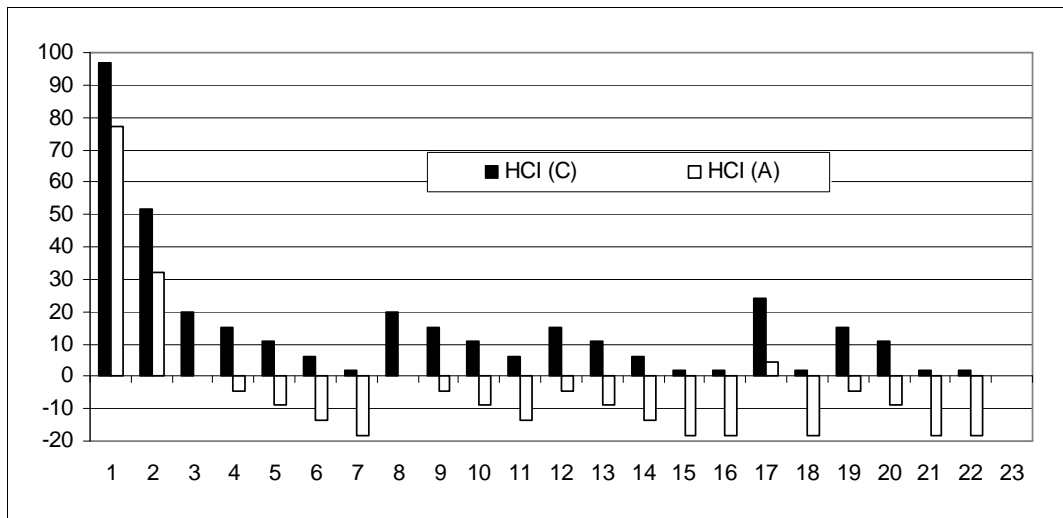
Pada Gambar 4 tampak bahwa HCI(A) maksimum tidak mencapai 100% (hanya 77,27%) sedangkan HCI(C) juga tidak mencapai 100% tetapi jauh lebih tinggi yaitu 97%. Ini menunjukkan bahwa jaringan pipa tersebut sebenarnya sudah tidak memenuhi standar yang diharapkan. HCI(C) untuk pipa-pipa yang lain masih positif. Hal ini karena tidak ada sisa tekanan negatif pada semua node. Sebaliknya, HCI(A) pada sebagian besar node adalah negatif yang berarti bahwa pemotongan layanan air ke sebelah hilir pipa tersebut justru meningkatkan layanan. Seperti telah dibahas sebelumnya permasalahan tersebut disebabkan oleh interpretasi HCI(A). Dengan menutup pipa nomer 5 misalnya, jaringan seolah olah meningkat kinerjanya (layanannya) padahal kenyataannya node 10 dan 11 menjadi tidak terlayani. Demikian juga untuk node-node dengan HCI(A) berharga negatif lainnya. Dengan standar hitungan HCI(A) sisa tekanan lebih penting

Studi Beberapa Kriteria Hydraulic Critical Index (Link Importance) Pada Jaringan Pipa (Radianta Triatmadja)

dibanding jumlah node atau debit yang dapat dilayani. Mungkin saja kriteria ini benar pada suatu kondisi tertentu. Namun demikian, pada kondisi yang sisa tekanan belum menjadi hal yang paling utama maka jumlah node yang terlayani masih merupakan faktor penentu atau indikator tingkat layanan yang baik.

#### 4.1. Simulasi HCI pada Jaringan Air Minum Yang Ada di Indonesia

Untuk melihat harga HCI pada jaringan air minum perpipaan yang ada di Indonesia dipilih jaringan air minum kota Batang. Data jaringan didasarkan pada hasil penelitian Astuti (2005). Untuk penyederhanaan hitungan, kombinasi pompa dan tangki pada salah satu node telah diganti dengan tangki saja. Hal ini tidak mengurangi akurasi hitungan karena hitungan HCI hanya dilakukan untuk kondisi kebutuhan rerata. Gambar jaringan pipa diberikan pada Gambar 5, namun data jaringan pipa terlalu banyak untuk ditampilkan dalam paper ini, tetapi dapat dilihat dalam Astuti (2005).

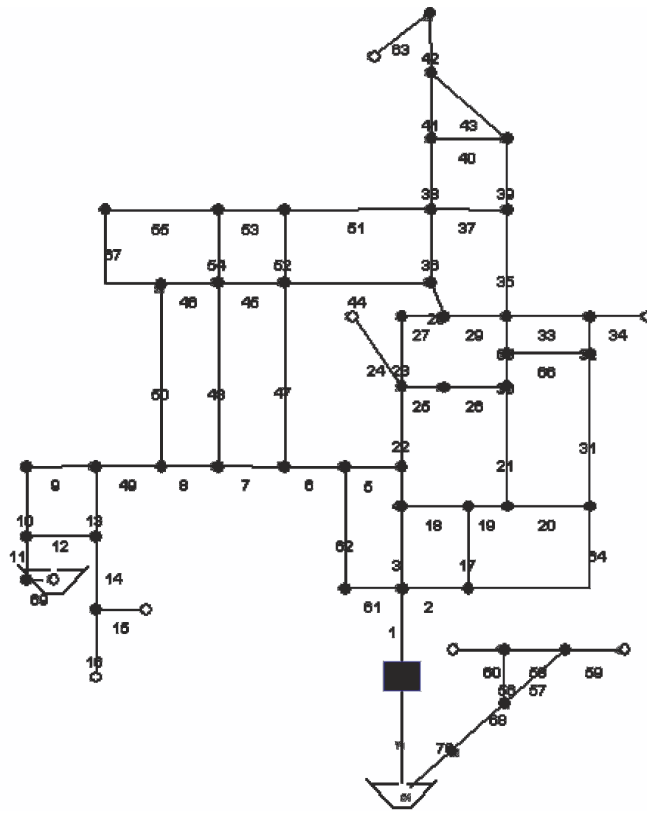


**Gambar 4. HCI Jaringan pipa pada Gambar 1a dengan diameter pipa dimodifikasi**

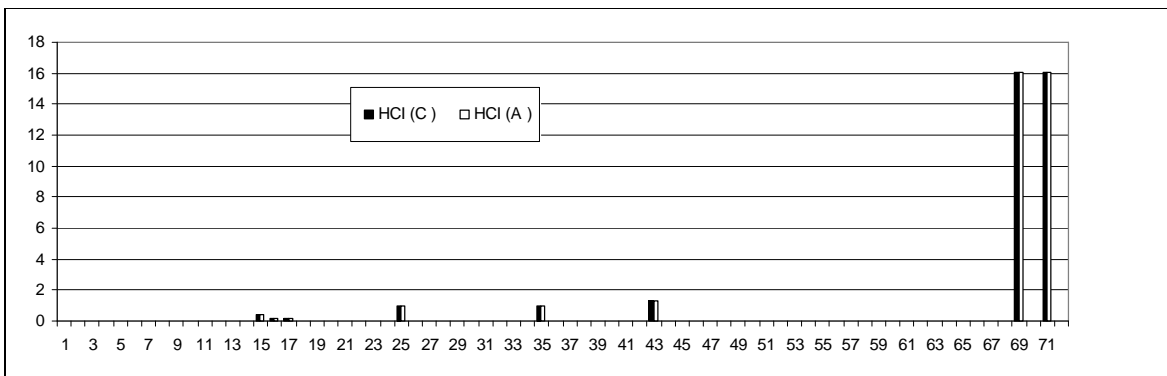
Hasil simulasi diberikan pada Gambar 6. Pada gambar tersebut tampak bahwa HCI tertinggi hanya mencapai 16%. Ini menunjukkan beberapa kemungkinan. Kemungkinan pertama adalah bahwa jaringan pipa tersebut aman terhadap kerusakan pipa. Kerusakan satu jalur pipa hanya menyebabkan pengurangan layanan sebesar 16%. Kemungkinan kedua adalah memang pada kondisi maksimum tingkat layanan tidak mencapai maksimum. Pada jaringan air minum kota Batang, sumber air dipenuhi dari dua reservoir. Dengan demikian, HCI maksimum system jaringan air minum tersebut < 100%. Semua HCI pipa positif baik berdasarkan HCI(C) maupun HCI (A). Ini berarti bahwa semua node memperoleh layanan sesuai dengan persyaratan saat kebutuhan rerata.

Simulasi HCI pada jaringan air minum di Kota Batang menunjukkan bahwa resiko penghentian layanan akibat kerusakan jalur pipa sangat kecil. HCI (C) pipa 11 dan pipa 1 adalah nol. Namun kalau salahsatu sumber tidak tersedia airnya, maka HCI pipa 1 akan menjadi 100% sedang HCI(C) pipa 11 menjadi 86%. Kedua pipa transmisi tersebut perlu monitoring yang lebih baik untuk mengantisipasi kerusakan fatal keduanya secara bersamaan.





Gambar 5. Jaringan air minum Kota Batang (dimodifikasi dari Astuti,2006)



Gambar 6. HCI pada jaringan air minum kota Batang pada kebutuhan rerata

## 5. KESIMPULAN

HCI berdasarkan *range head* (HCI(C)) kebanyakan lebih cocok diterapkan di Indonesia

- 1) HCI(C), bisa berharga negatif yaitu jika jaringan air minum dalam kondisi tidak dapat mencukupi 100% kebutuhan debit dan sisa tekanan yang disyaratkan.
- 2) HCI berdasarkan *fixed head* hanya tepat untuk syarat sisa tekanan yang mutlak diperlukan
- 3) Jika sisa tekanan bukan merupakan harga mutlak maka kesalahan interpretasi HCI sangat merugikan baik manajemen jaringan air minum maupun konsumen
- 4) Jaringan air minum kota Batang (yang diuji oleh Astuti) kondisi tidak optimal (kurang efisien) yang ditunjukkan oleh banyaknya pipa dengan HCI rendah.

- 5) Kebanyakan HCI(C) jaringan air minum di kota Batang kurang dari 20% menunjukkan bahwa jaringan tersebut tidak rentan terhadap kerusakan jalur pipa namun sekaligus mengindikasikan bahwa jaringan tersebut kurang efisien.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Astuti, Tri Puji, 2005, *Tinjauan dan alternatif Pengembangan Jaringan Unit BNA Kota Batang PDAM Kabupaten Batang (Aplikasi software Waternet Versi 1.7)*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil UGM.
- Lansley, K., and Mays, L.W., 2000, *Hydraulics of Water Distribution Systems, Water Distribution System Hand Book*, Editor : Larry W Mays, McGraw Hill, New York
- Nafi. A., Wery. C., Llerena. P., 2006, Scheduling Water Networks Renewal Using Hybrid Optimization Model, *Join International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering*, Montreal Canada
- Triatmadja, R., 2007, *Manual dan Dasar Teori WaterNet Versi 2.1*, HOCES, Yogyakarta.