

SISTEM PAKAR CAPD (*COMPUTER AIDED PIPING DESIGN*) UNTUK PERANCANGAN OTOMATIS SISTEM PERPIPAAN

Ari Satmoko *

ABSTRAK

SISTEM PAKAR CAPD (*COMPUTER AIDED PIPING DESIGN*) UNTUK PERANCANGAN OTOMATIS SISTEM PERPIPAAN. Salah satu tahap dalam konstruksi suatu instalasi industri adalah mempersiapkan gambar tata letak (*lay-out*) pemipaan yang hingga sekarang ini pengerjaannya masih manual. Dengan maksud menghemat waktu dan biaya dalam penggambaran *lay-out* pemipaan, P2TKN-BATAN melakukan penelitian untuk mengembangkan sistem pakar CAPD (*Computer Aided Piping Design*). Dengan meniru metodologi dan kinerja dari seorang pakar perpipaan, sistem pakar ini diharapkan mampu menggantikan kedudukan seorang perancang pipa. Konsep sistem pakar didasarkan pada asumsi bahwa pengetahuan seorang pakar dapat disimpan dalam komputer dan kemudian diterapkan oleh orang lain saat dibutuhkan. Prinsip kerja sistem pakar CAPD berlandaskan pada teori kecerdasan buatan dengan metoda pencarian kedalaman pertama (*first depth search*). Metoda ini juga dipandu oleh aturan *heuristik* berupa fleksibilitas pipa dan jarak lintasan minimum. Meski masih merupakan tahap awal, sistem pakar CAPD ini telah memberikan hasil dan solusi yang relatif memuaskan. Hingga sekarang ini, CAPD hanya mampu mengevaluasi benda-benda berbentuk silinder. Untuk dapat diterapkan dalam skala industri, CAPD ini masih perlu dikembangkan lebih lanjut dengan menambah berbagai komponen yang dapat dievaluasi. Berbagai aturan juga perlu ditambahkan seperti misalnya menghindari kantung pipa, mengakomodasi aspek ergonomi, dan memperhatikan aspek-aspek teknis lainnya.

ABSTRACT

CAPD (*COMPUTER AIDED PIPING DESIGN*) EXPERT SYSTEM FOR AUTOMATIC DESIGN OF PIPING SYSTEMS. One of several steps in industrial plant construction is preparing piping layout drawing. Until now this process is performed manually. To economize time and money, P2TKN-BATAN has developed a research in creating an expert system called as Computer Aided Piping Design (CAPD). By replicating the methodology and skill of the piping expert, the expert system should behave as piping designer. The concept is based on assumption that expert knowledge can be modelled in computer and then be applied by any operator. The principle of the CAPD expert system is artificial intelligence theory combined with the first depth search method. The method is guided by heuristic rules where pipe flexibility and minimum pipe length are evaluated. This expert system has given good and satisfied solution. By the way, it is still preliminary. Until now, the CAPD can only evaluate cylinder objects. In order to apply in industrial scale, the CAPD needs to be developed by completing with any object to be evaluated. Some rules also need to be applied such as avoiding pipe pocket, acomodating ergonomy, and paying attention in other engineering aspects.

* Pusat Pengembangan Teknologi Keselamatan Nuklir - BATAN

PENDAHULUAN

Suatu instalasi industri baik di bidang kimia, perminyakan maupun nuklir harus melalui beberapa tahap sebelum konstruksi. P&ID merupakan diagram pipa dan instrumentasi yang menjelaskan alur secara garis besar proses keseluruhan. Diagram ini menjadi referensi bagi perancang untuk mendisain sistem perpipaan setelah dilengkapi dengan berbagai dokumen seperti spesifikasi material, rincian lengkap peralatan (*equipment*), data base komponen perpipaan, dan sebagainya ^[1] dan ^[2]. Tugas perancang pipa adalah menghasilkan gambar tata letak (*lay-out*) pemipaan yang menunjukkan posisi sistem perpipaan, instrumentasi, peralatan, struktur penyangga dan semua komponen yang harus terwujud dalam konstruksi. Hingga kini, persiapan *lay-out* masih dilakukan secara manual yang tentu saja membutuhkan waktu dan biaya besar. Pengerjaan secara manual juga memiliki kelemahan karena menuntut ketelitian dan kecermatan yang tinggi dari seorang desainer. Kesalahan manusiawi yang berupa salah ketik atau salah hitung sangat mungkin terjadi.

Salah satu kegiatan penelitian di P2TKN-BATAN adalah mengembangkan sistem pakar (*expert system*) yang mampu menggantikan kedudukan seorang perancang pipa. Dengan dipandu oleh seorang operator yang bertugas memberikan informasi atau masukan tertentu, sistem pakar tersebut yang diberi nama CAPD (*Computer Aided Piping Design*) akan melakukan pencarian lintasan pipa secara otomatis. Dibanding dengan pengerjaan manual, sistem pakar ini tentu saja menawarkan penghematan waktu dan biaya dalam penggambaran *lay-out* pemipaan. Pengerjaan secara otomatis yang dilakukan oleh komputer juga akan meminimalkan kesalahan-kesalahan yang mungkin timbul. Kegiatan penelitian ini merupakan pengembangan lanjutan dari program CAPD sebelumnya yang sangat bersifat tidak fleksibel dan terbatas pada masalah-masalah spesifik ^[3].

TEORI

Membuat lintasan pipa dari satu titik ke titik lain mempunyai solusi yang tak terhingga banyaknya. Sedangkan jawaban harus bersifat fleksibel. Program komputer standar sulit menyelesaikan persoalan seperti ini. Program harus mampu mencari berbagai alternatif dan membuat keputusan. Algoritma seperti ini mudah dipecahkan bila menggunakan prinsip-prinsip kecerdasan buatan.

Pemecahan suatu masalah selalu dilakukan dengan pencarian (*search*) kemungkinan di antara pilihan-pilihan yang ada dan didukung oleh sejumlah alternatif strategi. Aspek tingkah laku cerdas yang mendasari teknik penyelesaian problem disebut proses pencarian ruang keadaan. Suatu metoda yang dikenal dengan *exhaustive search* mengevaluasi semua ruang keadaan yang mungkin terjadi. Namun

problem yang sangat besar membuat pendekatan ini praktis jarang diterapkan karena alasan pemborosan. Pemecahan problem harus didasarkan pada aturan-aturan yang memandu proses pencarian ke arah ruang keadaan yang paling menjanjikan. Aturan seperti inilah yang dikenal dengan *heuristic*: suatu strategi untuk melakukan proses pencarian ruang keadaan secara selektif, dengan memandu di sepanjang jalur yang memiliki kemungkinan sukses paling besar dan mengesampingkan usaha yang memboroskan waktu^[4]. Sekalipun tidak selalu menjamin solusi optimal dari suatu problem, namun kebanyakan pendekatan *heuristic* mampu mencapainya. Proses pencarian *heuristic* merupakan alat yang efektif untuk mendapatkan solusi dari problem-problem sulit.

Salah satu strategi untuk mengendalikan proses pencarian yang akan digunakan dalam pengembangan sistem pakar CAPD adalah pencarian kedalaman pertama (*first depth search*). Dimulai dari keadaan awal, metoda ini mengambil salah satu kemungkinan dari berbagai alternatif dan kemudian meneruskan evaluasi ke tingkat yang lebih rendah. Proses pencarian dengan metoda ini akan dengan cepat mencapai kedalaman ruang pencarian. Jika diketahui bahwa lintasan solusi problem akan panjang, maka pencarian kedalaman pertama tidak akan memboroskan waktu.

Sistem pakar adalah program berbasis pengetahuan yang menyediakan solusi-solusi dengan kualitas pakar untuk permasalahan dalam suatu bidang tertentu^[4]. Umumnya pengetahuannya diambil dari seorang manusia yang pakar dalam bidang tersebut. Sistem pakar berusaha menirukan metodologi dan kinerja dari seorang pakar. Konsep sistem pakar didasarkan pada asumsi bahwa pengetahuan seorang pakar dapat ditangkap dalam penyimpanan komputer dan kemudian diterapkan oleh orang lain saat dibutuhkan. Menurut McLeod^[5], model sistem pakar terdiri dari empat bagian utama yakni *user interface*, *knowledge base*, *inference engine* dan *development engine*. *User interface* memungkinkan operator untuk memasukkan instruksi atau informasi ke dalam sistem pakar dan menerima informasi atau hasil dari sistem pakar. Instruksi atau informasi yang berbentuk nilai pada variabel tertentu akan mengarahkan sistem pakar melalui proses penalaran. *Knowledge base* berisikan seperangkat aturan yang mengekspresikan logika masalah. Aturan terdiri dari dua bagian yaitu kondisi dan tindakan yang diambil bila kondisinya memenuhi. Kesulitan utama dalam menggunakan aturan adalah bagaimana memilih aturan-aturan tersebut diterapkan. *Inference engine* adalah bagian dari sistem pakar yang melakukan penalaran dengan menggunakan isi *knowledge base* berdasarkan urutan tertentu. Terdapat dua metoda utama dalam *inference engine* yaitu penalaran maju dan penalaran mundur^[5,6,7]. Penalaran maju atau *forward chaining* berangkat dari sebuah kondisi awal. Dengan menerapkan berbagai aturan, proses pencarian solusi dilakukan hingga berakhir pada kondisi tujuan (*goal state*). Penalaran mundur atau *backward chaining* merupakan kebalikan dari penalaran maju: proses pencarian solusi berawal dari kondisi tujuan dan berakhir pada kondisi awal. Berbagai metoda dalam kecerdasan buatan dapat diterapkan baik dalam penalaran maju ataupun mundur. *Development engine*

digunakan untuk menciptakan sistem pakar. Alat yang digunakan adalah bahasa pemrograman. Beberapa bahasa yang dipertimbangkan cocok untuk masalah kecerdasan buatan adalah LISP dan Prolog.

PERMASALAHAN DAN PEMBATASAN MASALAH

Lintasan pipa digambarkan dengan satu atau lebih garis yang dibatasi oleh dua buah titik (atau *nozzle* pada suatu *equipment*) pada ujungnya. Tujuan dari dikembangkannya sistem pakar ini adalah mencari dan menemukan lintasan pipa tersebut. Permasalahan tersebut mempunyai solusi kemungkinan tak terhingga banyaknya.

Sistem perpipaan berada dalam suatu instalasi yang sangat kompleks. Di samping bermacam-macam komponen dengan bentuk yang beraneka pula, berbagai aturan baik yang bersifat teknis ataupun non teknis juga semakin menambah pelik sistem. Untuk menyederhanakan permasalahan dan juga karena memang sistem pakar CAPD ini masih bersifat awal, berbagai batasan diterapkan di antaranya:

- Sistem perpipaan masih menyangkut problem sederhana, artinya sistem tersebut hanya menghubungkan 2 titik *nozzle* peralatan.
- Benda-benda yang dimodelkan hanya berbentuk silinder.
- Tidak memperhatikan aspek-aspek teknis yang spesifik seperti misalnya pembentukan kantung pipa, kecenderungan mendekati struktur, ketinggian suatu komponen harus dalam rentang tertentu, dan sebagainya.

Sistem pakar CAPD hingga tahap ini baru membahas aspek geometri di mana panjang lintasan dan jumlah *elbow* harus minimal. Lintasan tidak boleh menabrak benda lain. Aturan fleksibilitas pipa juga diterapkan meski hanya dalam menentukan arah pembelokan.

PEMBAHASAN MASALAH

Sesuai dengan konsep sistem pakar, CAPD harus mempunyai perilaku seperti seorang disainer sistem perpipaan. Pengalaman seseorang disainer perpipaan harus dapat ditangkap dan disimpan oleh komputer dalam bentuk pemrograman. Pengalaman ini kemudian dipanggil dan diterapkan oleh operator CAPD untuk mendesain sistem perpipaan.

User interface

Sebelum sistem perpipaan dirancang, telah diketahui terlebih dahulu berbagai benda yang mungkin menjadi penghalang lintasan pipa. Penghalang-penghalang ini dapat berupa struktur ataupun *equipment* di mana sistem perpipaan akan dikaitkan. Lokasi dan dimensi benda penghalang ini ditentukan berdasarkan perhitungan awal dari berbagai divisi seperti sipil, mekanik dan proses.

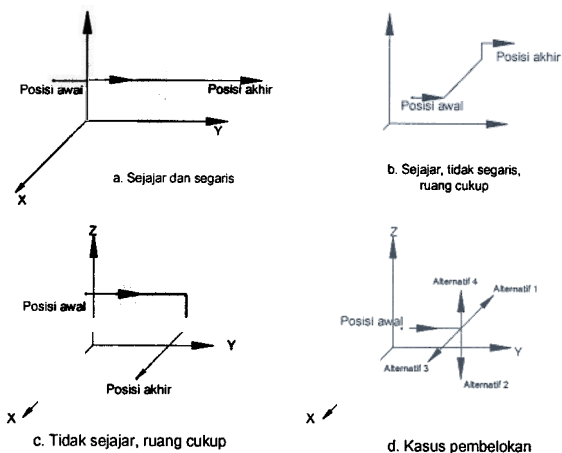
Sebuah lintasan pipa sederhana dicirikan dengan empat parameter yaitu dua buah titik pembatas dan dua buah vektor sesuai dengan arah *nozzle* pada *equipment*. Keempat parameter ini merupakan informasi yang harus didapatkan oleh CAPD dari operator. Apabila diinginkan, operator juga dapat mengarahkan sistem pakar CAPD untuk melalui titik-titik tertentu. Alternatif ini akan berguna bila ada permintaan khusus untuk melewati jalur-jalur tertentu karena berbagai alasan yang sifatnya insidensial.

Knowledge base

Keempat parameter input tersebut memberikan banyak kemungkinan. Sebagaimana yang ada di lapangan, lintasan pipa diusahakan selalu sejajar dengan sumbu X, Y atau Z. *Knowledge base* berisi aturan yang terdiri dari dua bagian yaitu kondisi dan tindakan yang diambil.

Pada pengembangan program sebelumnya^[3], setiap kemungkinan mempunyai kajian yang dituangkan dalam bentuk subprogram terpisah. Akibatnya subprogram yang harus disusun sangat banyak. Hal ini mengakibatkan subprogram-subprogram tersebut bersifat kaku dan tidak luwes. Pemrograman menjadi tidak efisien. Untuk selanjutnya penelitian diupayakan untuk menyusun program yang bersifat umum dan fleksibel.

Pada garis besarnya, berbagai kombinasi ruang keadaan yang mungkin terjadi dapat digolongkan pada empat kelompok kemungkinan utama (lihat Gambar 1). Keempat kelompok kemungkinan ini dikembangkan menjadi kelompok aturan yang berisi kondisi dan tindakan atau konsekuensi yang harus diambil. Kelompok aturan pertama adalah kasus sejajar dan searah. Dalam hal ini, bila tidak ada penghalang, lintasan selesai dirancang. Semua lintasan bagaimanapun kombinasi titik dan arahnya selalu akan berakhir pada kasus ini. Kelompok aturan kedua adalah sejajar namun tidak segaris dengan ruangan cukup. Arti dari ruangan cukup adalah ketersediaan ruangan untuk ditempati oleh *elbow-elbow* yang dibutuhkan. Lintasan tinggal mencari titik-titik dengan jarak minimum. Kelompok aturan ketiga terjadi ketika vektor awal dan akhir tidak sejajar dengan ruangan yang cukup. Pencarian lintasan dilakukan dengan mengevaluasi titik-titik berjarak dan bersiku minimum.



Gambar 1. Empat kelompok aturan dalam sistem pakar CAPD

Sedangkan kelompok aturan terakhir dijumpai apabila ketiga aturan di atas tidak terpenuhi. Pada kelompok aturan terakhir ini juga terdapat aturan-aturan yang lebih kecil. Pada waktu dibelokkan, setidaknya-tidaknyanya 4 kemungkinan muncul. Misalnya jika lintasan sekarang dalam arah sejajar X, maka pembelokan memberikan 4 arah kemungkinan yakni $-Y$, $+Y$, $-Z$ dan $+Z$. Penentuan arah lintasan memperhatikan aturan *flexibility* pipa, artinya lintasan pipa tidak dianjurkan membentuk lintasan lurus dan memanjang. Pengarahan seperti ini dimungkinkan dengan berasumsi bahwa arah belokan lintasan pipa ketiga mempunyai arah tegak lurus dengan dua lintasan sebelumnya. Dengan demikian aturan fleksibilitas pipa akan mereduksi kemungkinan menjadi 2 arah. Penentuan arah akhir yang diambil menggunakan prinsip *heuristik* dengan memperhatikan aturan panjang lintasan minimum. Aturan ini dilakukan dengan menghitung jarak antara titik aktual atau sesaat dengan titik akhir dalam arah sumbu proyeksi.

Inference engine

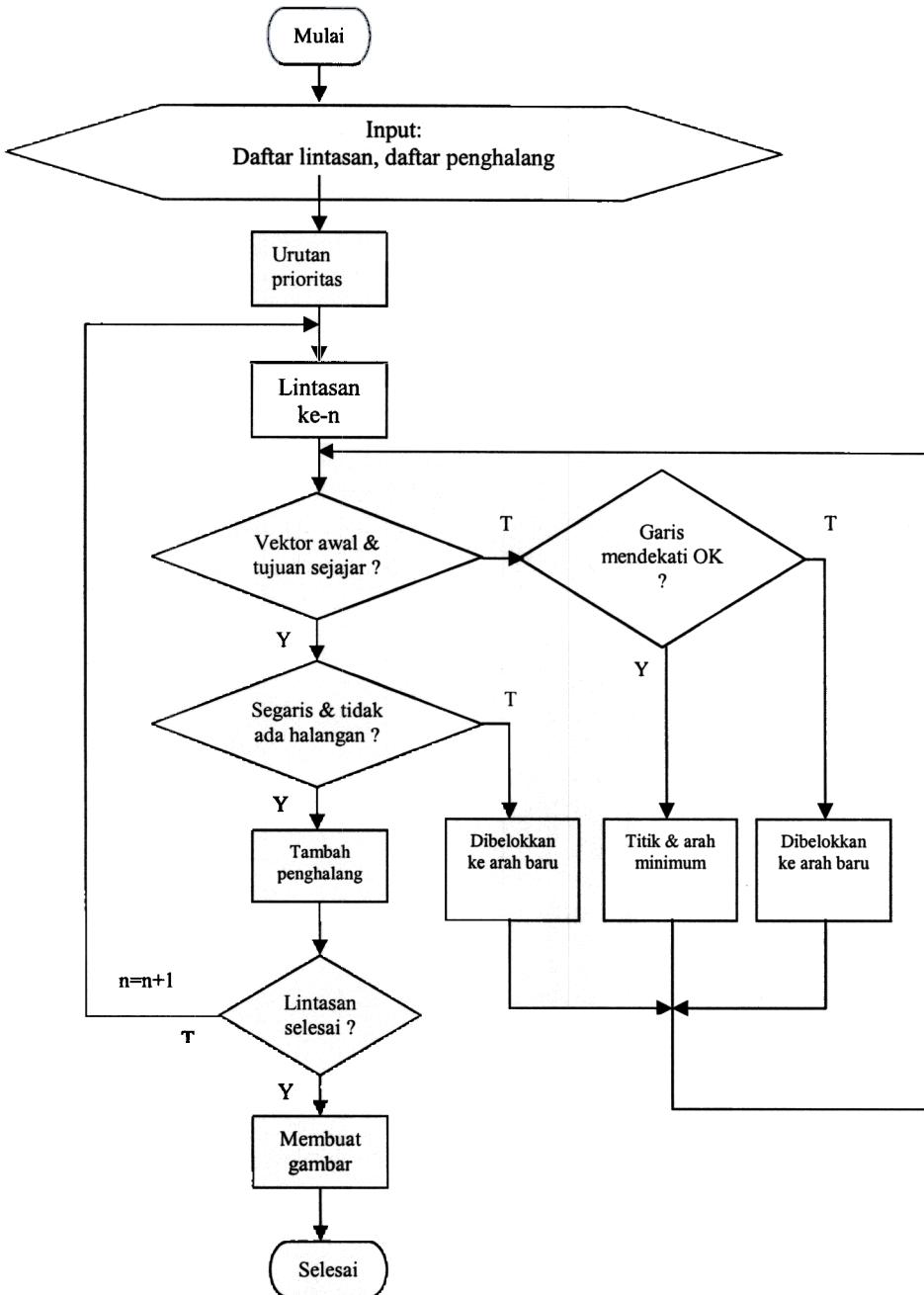
Parameter yang dievaluasi oleh sistem pakar CAPD adalah posisi dan arah. Dengan memperhatikan aturan-aturan yang ada dalam *knowledge base* di atas, *forward* ataupun *backward chaining* tidak akan memberikan perbedaan hasil yang

berarti. Karena dipertimbangkan lebih mudah untuk diikuti secara logika, penalaran maju telah diputuskan untuk digunakan oleh sistem pakar CAPD.

Pada prinsipnya logika pencarian lintasan dilakukan dengan terlebih dahulu mengevaluasi parameter posisi dan arah. Sesuai dengan kondisi tertentu, keempat kelompok aturan akan menghasilkan posisi dan arah yang diperbaharui. Untuk kelompok aturan pertama, kedua dan ketiga posisi dan arah yang terbaru hanya terdiri dari satu alternatif. Namun, kelompok aturan keempat menghasilkan posisi baru dengan empat alternatif arah. Dalam hal ini, sistem pakar CAPD menggunakan metode pencarian kedalaman pertama (*first depth search*). Metode ini mengambil salah satu kemungkinan dari berbagai alternatif tersebut. Seperti yang telah diterangkan di bagian *knowledge base*, pemilihan alternatif didasarkan pada aturan fleksibilitas dan aturan panjang lintasan minimum. Meski dari empat kemungkinan ini hanya diambil satu, tiga arah lainnya tetap akan dicatat dan sewaktu-waktu akan digunakan apabila ternyata lintasan utama menjumpai jalan buntu. Dengan diperolehnya posisi dan arah baru, pencarian lintasan pipa diulangi seterusnya hingga berakhir pada kelompok aturan pertama.

Secara lengkap diagram alur program dapat dilihat pada Gambar 2. Sebagai input dibutuhkan semua lintasan pipa yang akan dirancang (posisi dan arah pada masing-masing titik awal dan akhir) dan daftar *equipment* yang mungkin menjadi penghalang. Program juga dilengkapi dengan sebuah subprogram yang mampu mengevaluasi daftar urut semua lintasan pipa berdasarkan urutan prioritas. Berbagai alasan baik teknik maupun ekonomi mengharuskan pipa berdiameter lebih besar harus mempunyai lintasan minimum sehingga menjadi prioritas utama.

Dengan mengambil salah satu lintasan yang harus dirancang, pertama kali yang dievaluasi adalah apakah vektor awal dan vektor akhir sejajar. Apabila segaris dan vektor akhir terletak dalam posisi positif maka lintasan selesai, tinggal menghubungkan kedua titik. Dengan demikian lintasan selesai tergambar dan lintasan ini akan menjadi penghalang tambahan untuk lintasan-lintasan pipa berikutnya. Dalam setiap lintasan selalu diperiksa apakah lintasan yang sedang dirancang bertabrakan dengan benda-benda lain di sekitarnya. Kasus tabrakan akan mengakibatkan lintasan pipa dibelokkan ke arah lain.



Gambar 2. Diagram alur sistem pakar CAPD

Development engine

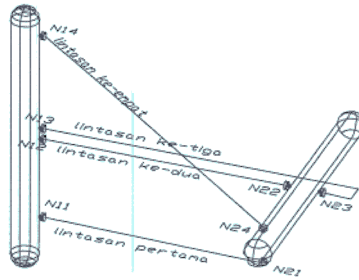
Untuk pemrograman, bahasa yang digunakan harus sesuai dengan permasalahan kecerdasan buatan dan harus dapat pula diimplementasikan dengan piranti lunak yang banyak digunakan dalam rancang bangun suatu instalasi industri. AutoLISP yang merupakan pengembangan dari LISP memenuhi kriteria ini karena dapat dieksekusi di bawah piranti lunak AutoCAD^[8]. Bahasa ini memiliki fasilitas untuk menangani struktur data yang bersifat *list* atau himpunan.

HASIL PEMROGRAMAN

Program dalam bahasa AutoLISP telah selesai disusun dengan mengacu kepada diagram alur seperti yang ada pada Gambar 2. Dalam rangka menguji apakah sistem pakar telah berfungsi seperti yang diharapkan, CAPD dicoba untuk mendesain sistem perpipaan berikut. Sistem perpipaan terdiri dari dua *equipment* E_1 dan E_2 . *Equipment* pertama mempunyai empat *nozzle* N_{11} , N_{12} , N_{13} dan N_{14} . *Equipment* ini berdiri sejajar dengan sumbu Z (lihat Gambar 3). *Equipment* kedua yang terletak dalam posisi tidur sejajar sumbu X juga mempunyai empat *nozzle* N_{21} , N_{22} , N_{23} dan N_{24} . Program CAPD akan diuji untuk melakukan disain empat sistem perpipaan sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 1 berikut.

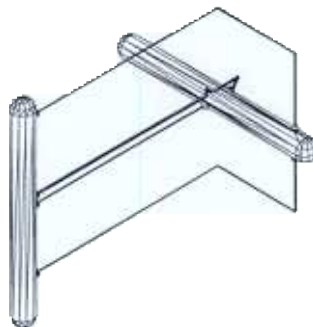
Tabel 1. Beberapa lintasan pipa yang akan dirancang oleh sistem pakar CAPD

Nomor lintasan	Diameter pipa	Titik awal			Titik akhir		
		Kode	posisi	arah	Kode	posisi	Arah
Pertama	1"	N_{11}	(0, 600, -3000)	+Y	N_{21}	(0, 10000, -600)	+Z
Ke-dua	2"	N_{12}	(0, 600, 0)	+Y	N_{22}	(0, 9400, 0)	+Y
Ke-tiga	1"	N_{13}	(0, 600, 400)	+Y	N_{23}	(0, 10600, 0)	-Y
Ke-empat	1"	N_{14}	(0, 600, 4000)	+Y	N_{24}	(0,10000, 600)	-Z



Gambar 3. Lintasan yang harus dirancang oleh sistem pakar CAPD

Berdasarkan prioritas ukuran diameter maka sistem pakar CAPD memberikan urutan sebagai berikut: lintasan kedua, lintasan pertama, lintasan ketiga, dan lintasan ke-empat. Lintasan pipa dengan diameter 2" mendapat prioritas pertama dan digambar dengan mudah hanya dengan sebuah garis lurus (lihat Gambar 4). Lintasan pertama dan ke-empat juga diperoleh dengan hanya menghubungkan titik-titik yang memberikan panjang dan jumlah *elbow* minimum. Lintasan ketiga agak sedikit menjumpai hambatan karena jalur lurus nya bertabrakan dengan *equipment E₂*. Lintasan pipa dibelokkan ke arah atas untuk menghindari tabrakan. Di sini sesuai dengan aturan fleksibilitas pipa, lintasan dibelokkan sejajar sumbu X, untuk kemudian kembali mencari lintasan minimum. Dapat dicatat, panjang lintasan yang diperoleh bukanlah lintasan dengan kriteria panjang minimum. Lintasan semestinya begitu naik ke atas langsung diarahkan kembali sejajar dengan sumbu Y. Namun aturan fleksibilitas pipa lebih diprioritaskan terhadap panjang minimum.



Gambar 4. Hasil rancangan lintasan pipa yang diajukan oleh sistem pakar CAPD

Dari contoh eksekusi di atas terbukti bahwa metode pencarian kedalaman pertama memberikan solusi yang memuaskan. Kalaupun ada lintasan yang bukan terpendek, hal ini lebih disebabkan karena ada peraturan lain yang lebih dominan. Sistem pakar CAPD ini masih membatasi pada permasalahan yang sederhana. Benda-benda yang dapat dimodelkan hanya yang berbentuk silinder. Untuk dapat diterapkan di bidang industri, sistem pakar ini masih perlu dikembangkan lebih lanjut misalnya dengan memperkaya komponen-komponen yang dapat dimodelkan ataupun dengan menambah berbagai aturan teknis seperti menghindari terjadinya kantung pipa, mengakomodasi aspek ergonomi dan memperhatikan aspek-aspek *engineering* lainnya.

KESIMPULAN

Sistem pakar computer aided piping design (CAPD) telah dikembangkan untuk merancang sistem perpipaan secara otomatis. Secara matematika, merancang sistem perpipaan tak lain adalah mencari lintasan yang menghubungkan dua titik atau lebih. Solusi dari problem ini adalah tak terhingga banyaknya. Masalah-masalah ini dapat dipecahkan oleh sistem pakar CAPD dengan memanfaatkan teori kecerdasan buatan khususnya metode pencarian kedalaman pertama. Dengan dipandu oleh aturan *heuristik* tertentu, metoda ini telah memberikan hasil dan solusi yang relatif memuaskan. Sistem pakar CAPD ini masih merupakan tahap awal. Untuk dapat diterapkan dalam skala industri, sistem pakar ini masih perlu dikembangkan baik dengan memperkaya komponen-komponen lain yang dievaluasi, maupun dengan aturan-aturan tambahan seperti menghindari kantung pipa, aspek ergonomi, aspek keselamatan ataupun aspek –aspek teknis lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- LOUIS GARY LAMIT, *Piping Systems Drafting and Design*, Prectice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1981
- , *Design of Piping System*, Pullman Power Products, Revised Second Edition, A Wiley Interscience Publication 1986, ISBN: 0 471 46795 2
- ARI SATMOKO, *Pengembangan Piranti Lunak Awal untuk Perancangan Otomatik Sistem Perpipaan dalam Ruang Tiga Dimensi dengan Menggunakan Teori Kecerdasan Buatan*, Risalah Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir XI, Jakarta, Oktober 2000

4. SANDI SETIAWAN, Artificial Intelligence, Edisi Pertama, Penerbit Andi Offset Yogyakarta, ISBN: 979-533-163-9, 1993
5. RAYMOD MCLEOD, Jr., Sistem Informasi Manajemen, Edisi ketujuh, PT Prenhallindo, Jakarta, 1998
6. ELAINE RICH, Artificial Intelligence, International Student Edition, McGraw-Hill Inc., Singapore, 1983
7. DAVID W. ROLSTON, Principles of Artificial Intelligence and Expert Systems Development, McGraw-Hill Book Company
8. -----, AutoLISP Programmer's Reference Manual, Release 12, Autodesk Inc., 1990

DISKUSI

ADE JAMAL

1. Sistem CAPD tidakkah lebih baik untuk *Checker* bahwa untuk fungsi *designer*?
2. Tidak diterapkan untuk *stress analysis*?

ARI SATMOKO

Fungsi *checker* memang lebih mudah daripada berfungsi sebagai *designer*. Menurut saya CAPD sebagai *designer* lebih menjanjikan untuk kepentingan industri dibandingkan dengan fungsi *checker*.

2. Sistem pakar untuk sementara ini tidak/sulit diterapkan untuk *stress analysis* karena *stress analysis* sangat sulit untuk ditebak.

NGARAP IM. MANIK

1. Dalam perancangan sistem pakar ini, ada berapa *Rulebase* yang sudah Bapak susun?
2. Apa alasan Bapak dalam perancangan sistem pakar ini menggunakan *first depth search*?
3. Dari presentasi yang Bapak sampaikan, saya mohon kejelasan di mana kepakaran sistem dirancang?

ARI SATMOKO

Rule-base sudah sekitar 30% dari jumlah ideal. Selain aturan yang ada dalam makalah, sudah banyak aturan yang sudah diimplementasikan ke dalam sistem pakar tersebut, misalnya aturan fleksibilitas dalam 3D, aturan pembelokan jika menabrak suatu benda, pembatasan panjang maksimum, dan lain-lain.

2. Karena sistem perpipaan sering sangat kompleks dan sangat panjang, *first depth search* dianggap sebagai metode yang paling cocok untuk masalah seperti ini.
3. Sistem pakar yang dipresentasikan masih merupakan tahap awal sehingga perlu pengembangan lanjutan. Kepakarannya terletak pada kemampuan dalam mendesain sistem perpipaan pada instalasi yang rumit seperti misalnya di bidang kimia, minyak, dan bahan nuklir.