

ANALISIS PENYELESAIAN PUZZLE SUDOKU DENGAN MENERAPKAN ALGORITMA *BACKTRACKING* MEMANFAATKAN BAHASA PEMROGRAMAN VISUAL BASIC 6.0

Rina Dewi Indah Sari, S. Kom
Dosen STMIK ASIA Malang

ABSTRAKSI

Algoritma yang banyak diterapkan dalam mengaplikasikan permainan adalah algoritma *backtracking* (runut-balik). Dengan menggunakan algoritma ini, penyelesaian suatu permainan, yang melibatkan banyak kemungkinan, dapat diselesaikan dengan lebih cepat. Hal ini dikarenakan, jika kita menggunakan algoritma *backtracking*, tidak perlu memeriksa semua kemungkinan solusi yang ada. Hanya pencarian yang mengarah ke solusi saja yang perlu dipertimbangkan.

Salah satu jenis permainan yang dapat diselesaikan dengan algoritma runut-balik adalah permainan teka-teki *Sudoku*. Permainan *Sudoku* adalah salah satu *puzzle* yang paling banyak digemari saat ini, dan juga merupakan salah satu permasalahan paling sulit di bidang informatika. Hingga saat ini banyak programmer yang mencari algoritma yang paling mangkus untuk menyelesaikan *puzzle* ini.

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Permainan *Sudoku* adalah permainan yang dapat melatih logika manusia dalam berpikir cepat dan teliti. Permainan ini tidak bisa sembarang dimainkan, karena bila bermain dengan sembarangan di awal permainan, tidak bisa menyelesaikan game ini.

Permasalahan *puzzle Sudoku* sulit untuk dipecahkan karena masuk dalam permasalahan *NP-complete*, sehingga tidak bisa diselesaikan dalam waktu yang sama. Hingga saat ini banyak programmer yang mencari algoritma yang tepat untuk menyelesaikan *puzzle* ini. Cara yang paling gampang adalah algoritma *Brute Force* yaitu dengan cara mengenumerasikan semua kemungkinan isi sel dengan angka 1 sampai 9. Tetapi cara ini tentu saja tidak tepat karena kemungkinannya akan sangat banyak sekali. Karena itu algoritma ini diperbaiki dengan menambahkan batasan (*constraints*), yaitu tidak boleh ada angka yang sama dalam satu baris, kolom atau *subgrid*. Cara ini bisa mereduksi jumlah kemungkinan secara signifikan sehingga algoritma menjadi lebih tepat.

Untuk memecahkan teka-teki *Sudoku*, dapat digunakan algoritma *backtracking* (runut-balik). Algoritma ini merupakan perbaikan dari algoritma *Brute Force*, dimana solusi dapat ditemukan dengan penelusuran yang lebih sedikit dan dapat mencari solusi permasalahan secara lebih efektif karena tidak perlu memeriksa semua kemungkinan solusi yang ada. Hanya pencarian yang mengarah ke solusi saja yang perlu dipertimbangkan.

Algoritma *Backtracking* ini mudah diimplementasikan dengan bahasa pemrograman yang mendukung pemanggilan fungsi/ prosedur rekursif. Salah satu bahasa pemrograman yang mendukung pemanggilan fungsi adalah Visual Basic 6.0.

2. Rumusan Masalah

Bagaimana menyelesaikan permainan *puzzle Sudoku* dengan menerapkan algoritma *backtracking* memanfaatkan bahasa pemrograman Visual Basic 6.0 dan Database *Microsoft Access* 2003 ?.

3. Batasan Masalah

1. Analisis penyelesaian dilakukan untuk game *puzzle Sudoku* berukuran 9 x 9 dengan inputan angka 1 sampai dengan 9.
2. Metode yang diterapkan adalah dengan algoritma *backtracking*.
3. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah Visual Basic 6.0.
4. Database yang digunakan *Microsoft Access* 2003.

4. Tujuan Dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempopulerkan permainan *puzzle Sudoku* di kalangan akademik untuk dapat melatih logika manusia dalam berpikir cepat dan teliti. Serta membantu para penggemar permainan *Sudoku* dalam mencari cara penyelesaian permainan yang lebih cepat dan tepat.

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini diharapkan dapat mengasah otak dalam berfikir secara cepat dan teliti untuk mencari penyelesaian suatu masalah serta memberikan alternatif cara yang efisien dalam penyelesaian permainan *puzzle Sudoku* sehingga dapat menjadi bahan kajian yang bisa dikembangkan dikemudian hari.

5. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan beberapa metode yaitu:

1. Studi Pustaka (*Library Research*)
Studi Pustaka dilakukan dengan cara mempelajari teori-teori literatur dan buku-buku yang berhubungan dengan objek kajian sebagai dasar dalam penelitian, dengan tujuan memperoleh dasar teoritis gambaran dari apa yang dilakukan.
2. Dengan melakukan kajian secara on-line di internet
Browsing halaman-halaman yang membahas tentang dasar algoritma dan permainan *puzzle Sudoku*, baik yang berupa artikel maupun berupa aplikasi.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Dynamic Problem Solving

Dynamic Problem Solving dapat diartikan sebagai penyelesaian/ pemecahan masalah di mana *state* (kondisi) permasalahan tersebut selalu berubah-ubah dan mempunyai banyak kemungkinan solusi. Perubahan tersebut bisa terjadi dengan mengikuti suatu pola (*model*) tertentu yang dapat didefinisikan sebagai suatu fungsi terhadap waktu, maupun tanpa pola.

Prinsip dasar dari *Dynamic Problem Solving* ini adalah menganalisa semua jalur yang bisa menghasilkan solusi dan kemudian memilih satu jalur terbaik sehingga didapatkan solusi terbaik. Dalam beberapa kasus, program tidak hanya akan melihat/ menganalisa langkah-langkah yang ada sebagai pertimbangan dalam memilih solusi, contohnya pada beberapa *board games* seperti catur dan *sheckers*, karena besar kemungkinannya bahwa persoalan tersebut memiliki solusi yang sangat banyak. Apabila semua solusi tersebut ditelusuri satu per satu, maka program tidak akan berjalan dengan efisien.

2. Aturan Permainan *Sudoku*

Aturan permainan untuk *puzzle* ini sangat sederhana, untuk menyelesaikan permainan ini tidak diperlukan pengetahuan umum, kepandaian atas bahasa tertentu, juga kemampuan matematika. Tetapi hanya memerlukan kecermatan, kesabaran, dan logika.

Papan *Sudoku* terbuat dari sembilan buah kotak oiberukuran 3×3 (disebut blok/ *subgrid*) yang disusun sedemikian rupa sehingga menghasilkan kotak besar berukuran 9×9. Beberapa kotak sudah diisi sebagai petunjuk awal dan tugas pemain adalah melengkapi angka-angka pada kotak yang lain sehingga keseluruhan papan permainan terisi angka secara lengkap. Aturan permainannya sangatlah sederhana:

1. Kotak-kotak pada setiap baris, kolom, dan blok/ *subgrid* harus berisi sebuah angka.
2. Angka-angka yang diisikan harus unik dari 1 hingga 9 sehingga dalam 1 blok/ *subgrid* hanya terdiri atas angka 1-9 yang tidak berulang dan tidak ada angka yang berulang dalam 1 baris maupun kolom.

Angka-angka ini sebenarnya tidak memiliki hubungan aritmetis satu sama lain. Anda boleh menggantinya dengan 9 huruf, lambang, atau warna yang berbeda.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 | | | | | 9 | | |
| | | 6 | | | | | | |
| | | | 2 | 4 | 1 | | 3 | |
| | | | 9 | | | 7 | | |
| | | | | | 2 | | | 4 |
| | 8 | | | 7 | | | | 2 |
| 8 | 5 | | | | | | | |
| | 9 | | 7 | | 4 | | | |
| | | | | 6 | | | | 1 |

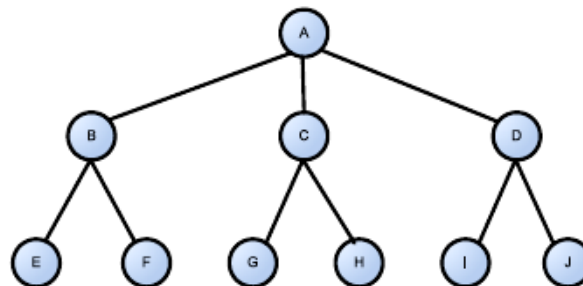
| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3 | 2 | 5 | 6 | 7 | 9 | 4 | 8 |
| 5 | 4 | 6 | 3 | 8 | 9 | 2 | 1 | 7 |
| 9 | 7 | 8 | 2 | 4 | 1 | 6 | 3 | 5 |
| 2 | 6 | 4 | 9 | 1 | 8 | 7 | 5 | 3 |
| 7 | 1 | 5 | 6 | 3 | 2 | 8 | 9 | 4 |
| 3 | 8 | 9 | 4 | 7 | 5 | 1 | 2 | 6 |
| 8 | 5 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 9 |
| 6 | 9 | 1 | 7 | 5 | 4 | 3 | 8 | 2 |
| 4 | 2 | 3 | 8 | 9 | 6 | 5 | 7 | 1 |

Gambar Puzzle Sudoku

3. Algoritma Backtracking (Runut Balik)

a. Algoritma Umum Backtracking

Algoritma *backtracking* adalah suatu algoritma yang merupakan perbaikan dari algoritma *brute force*, secara sistematis mencari solusi persoalan di antara semua kemungkinan solusi yang ada⁽⁶⁾. *Backtracking* merupakan bentuk tipikal dari algoritma rekursif dan berbasis pada DFS dalam mencari solusi yang tepat. Selain itu, algoritma ini juga merupakan metode yang mencoba-coba beberapa keputusan sampai kita menemukan salah satu yang ”berjalan”. Kita tidak perlu memeriksa semua kemungkinan solusi yang ada, tetapi cukup yang mengarah kepada solusi saja. Dengan memangkas (*pruning*) simpul-simpul yang tidak mengarah ke solusi, sehingga waktu pencarian dapat dihemat. Algoritma ini banyak diterapkan untuk program games dan permasalahan pada bidang kecerdasan buatan.



Gambar Pohon Solusi (tree)

Saat ini algoritma *backtracking* banyak diterapkan untuk program games seperti permainan tic-tac-toe, menemukan jalan keluar dalam sebuah labirin, catur dan sebagainya serta untuk menyelesaikan masalah-masalah pada bidang kecerdasan buatan (*artificial intelligence*).

Prinsip dasar algoritma *backtracking* adalah mencoba semua kemungkinan solusi yang ada. Perbedaan dengan algoritma *brute force* adalah pada konsep dasarnya, yaitu pada *backtracking* semua solusi dibuat dalam bentuk pohon solusi (*tree*), dan kemudian pohon tersebut akan ditelusuri secara DFS sehingga ditemukan solusi terbaik yang diinginkan.

Misalkan pohon di atas menggambarkan solusi dari suatu persoalan. Jika kita ingin mencari solusi dari A ke E, maka jalur yang harus ditempuh adalah (A-B-E). Demikian juga untuk solusi-solusi yang lain. Algoritma *backtracking* akan memeriksa jalur secara DFS, yaitu dari solusi terdalam pertama yang ditemui yaitu solusi E. Jika ternyata E bukanlah solusi yang diharapkan, maka pencarian akan dilanjutkan ke F. Jalur yang harus dilalui untuk bisa mencapai E adalah (A-B-E) dan untuk mencapai F adalah (A-B-F). Kedua solusi tersebut memiliki jalur awal yang sama, yaitu (A-B). Jadi, dari pada memeriksa ulang jalur dari A kemudian B, maka jalur (A-B) disimpan dulu dan langsung memeriksa solusi F. Untuk kasus pohon yang lebih rumit, cara ini dianggap lebih efisien daripada jika menggunakan algoritma *Brute-Force*.

b. Properti Umum Metode Runut Balik (*Backtracking*)

1. Solusi persoalan

Solusi dinyatakan sebagai vektor dengan *n*-index:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n), x_i \in \text{himpunan berhingga } S_i$$

Mungkin saja $S_1 = S_2 = \dots = S_n$

Keterangan: X = vektor solusi

x = komponen vektor solusi

S = himpunan kemungkinan solusi

Contoh: $S_i = \{0, 1\}$, $x_i = 0$ atau 1

2. Fungsi pembangkit nilai x_k

Dinyatakan sebagai:

$$T(k)$$

$T(k)$ membangkitkan nilai untuk x_k , yang merupakan komponen vektor solusi.

Keterangan: x = komponen vektor solusi

k = index komponen vektor solusi

T = fungsi pembangkit

3. Fungsi pembatas

Pada beberapa persoalan fungsi ini dinamakan fungsi kriteria.

Dinyatakan sebagai $B(x_1, x_2, \dots, x_k)$

Fungsi pembatas menentukan apakah (x_1, x_2, \dots, x_k) mengarah ke solusi. B bernilai *true* jika (x_1, x_2, \dots, x_k) mengarah ke solusi.

Jika *true*, maka pembangkitan nilai untuk x_{k+1} dilanjutkan, tetapi jika *false*, maka (x_1, x_2, \dots, x_k) dibuang dan tidak dipertimbangkan lagi dalam pencarian solusi.

Keterangan: x = komponen vektor solusi

k = index komponen vektor solusi

B = fungsi pembatas

4. Analisis Algoritma

Algoritma adalah urutan langkah yang tepat dan pasti dalam memecahkan suatu masalah secara logis. Beberapa masalah dapat diselesaikan dengan algoritma yang bermacam-macam asal hasilnya sama. Setiap bahasa pemrograman memiliki kelebihan dan kekurangan dalam mengimplementasikan algoritma dan setiap pemrogram dapat mengimplementasikan suatu

algoritma dengan cara yang berbeda-beda pula. Namun algoritma dapat dianalisis efisiensi dan kompleksitasnya.

Penilaian algoritma didasarkan pada:

- a. Waktu eksekusi (paling utama)
- b. Penggunaan memori/sumber daya
- c. Kesederhanaan dan kejelasan algoritma

Analisis algoritma tidak mudah dilakukan secara pasti, karena itu hanya diambil:

- a. Kondisi rata-rata (*average case*)
- b. Kondisi terburuk (*worst case*)

Waktu eksekusi dipengaruhi oleh:

- a. Jenis data input
- b. Jumlah data input
- c. Pemilihan instruksi bahasa pemrograman

Faktor-faktor yang menyulitkan analisis disebabkan oleh:

- a. Implementasi instruksi oleh bahasa pemrograman yang berbeda
- b. Ketergantungan algoritma terhadap jenis data
- c. Ketidakjelasan algoritma yang diimplementasikan

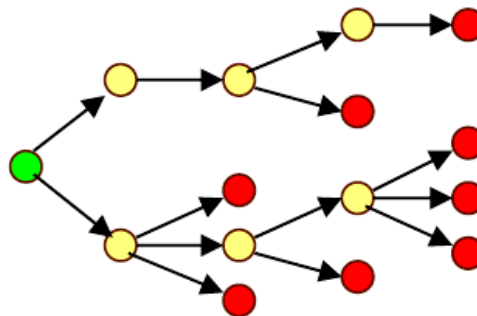
Langkah-langkah analisis algoritma

- a. Menentukan jenis/sifat data input.
- b. Mengidentifikasi *abstract operation* dari data input.
- c. Menganalisis secara matematis untuk menentukan *average case* atau *worst case* nya.

PEMBAHASAN

1. Prinsip Pencarian Solusi dengan Metode *Backtracking*

Seperti yang telah dijelaskan bahwa pencarian solusi dengan menggunakan algoritma *backtracking* digunakan pohon ruang status. Cara kerjanya adalah dengan membentuk lintasan dari akar ke daun.



Gambar Pohon Ruang Status

Langkah-langkah pencarian solusi pada pohon ruang status yang dibangun secara dinamis:

1. Solusi dicari dengan membentuk lintasan dari akar ke daun. Aturan pembentukan yang dipakai adalah mengikuti metode pencarian mendalam (DFS). Simpul-simpul yang sudah dilahirkan dinamakan simpul hidup (*live node*). Simpul hidup yang sedang diperluas dinamakan simpul-E (*Expand-node*). Simpul dinomori dari atas ke bawah sesuai dengan urutan kelahirannya.
2. Tiap kali simpul-E diperluas, lintasan yang dibangun olehnya bertambah panjang. Jika lintasan yang sedang dibentuk tidak mengarah ke solusi maka simpul-E tersebut “dibunuh” sehingga menjadi simpul mati (*dead node*). Fungsi yang digunakan untuk membunuh

- simpul-E adalah dengan menerapkan fungsi pembatas (*bounding function*). Simpul yang sudah mati tidak akan pernah diperluas lagi.
3. Jika pembentukan lintasan berakhir dengan simpul mati, maka proses pencarian diteruskan dengan membangkitkan simpul anak yang lainnya. Bila tidak ada lagi simpul anak yang dapat dibangkitkan, maka pencarian solusi dilanjutkan dengan melakukan *backtracking* ke simpul hidup terdekat (simpul orang tua). Selanjutnya simpul ini menjadi simpul-E yang baru. Lintasan baru dibangun kembali sampai lintasan tersebut membentuk solusi.
 4. Pencarian dihentikan bila kita telah menemukan solusi atau tidak ada simpul hidup untuk *backtracking* atau simpul yang dapat di diperluas.

2. Skema Umum Algoritma Backtracking

a. Versi rekursif

Skema versi rekursif sebagai berikut:

```

procedure RunutBalikR(input k:integer)
{Mencari semua solusi persoalan dengan metode runut-balik; skema rekursif
Masukan: k, yaitu indeks komponen vektor solusi, x[k]
Keluaran: solusi x = (x[1], x[2], ..., x[n])
}
Algoritma:
  for tiap x[k] yang belum dicoba sedemikian sehingga
    ( x[k]←T(k) ) and B(x[1], x[2], ... ,x[k])= true do
    if (x[1], x[2], ... ,x[k]) adalah lintasan dari akar ke daun
    then
      CetakSolusi(x)
    endif
    RunutBalikR(k+1)    { tentukan nilai untuk x[k+1]}
  endfor

```

b. Versi iteratif

Skema versi iteratif sebagai berikut:

```

procedure RunutBalikI(input n:integer)
{Mencari semua solusi persoalan dengan metode runut-balik; skema iteratif.
Masukan: n, yaitu panjang vektor solusi
Keluaran: solusi x = (x[1], x[2], ..., x[n])
}
Delarasi:
  k : integer
Algoritma:
  k←-1
  while k > 0 do
    if (x[k] belum dicoba sedemikian sehingga x[k]←T(k) ) and
      (B(x[1], x[2], ... ,x[k])= true)
    then
      if (x[1],x[2],...,x[k]) adalah lintasan dari akar ke daun
      then
        CetakSolusi(x)
      endif
      k←k+1    {indeks anggota tuple berikutnya}
    else    {x[1], x[2], ..., x[k] tidak mengarah ke simpul solusi }
      k←k-1    {runut-balik ke anggota tuple sebelumnya}
    endif
  endwhile
  { k = 0 }

```

Setiap simpul dalam pohon ruang status berasosiasi dengan sebuah pemanggilan rekursif. Jika jumlah simpul dalam pohon ruang status adalah 2^n atau $n!$, maka untuk kasus terburuk, algoritma *backtracking* membutuhkan waktu dalam $O(p(n)2^n)$ atau $O(q(n)n!)$, dengan $p(n)$ dan $q(n)$ adalah polinom derajat n yang menyatakan waktu komputasi setiap simpul.

3. Pengorganisasian Solusi

1. Ruang Solusi (*solution space*)

Semua kemungkinan solusi dari persoalan dinyatakan sebagai

vektor $X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9)$, $x_i \in S_i$

$S_1 = S_2 = S_3 = S_4 = S_5 = S_6 = S_7 = S_8 = S_9 = \dots = S_{81}$

$S_i = \{1,2,3,4,5,6,7,8,9\}$, $x_i = 1 \text{ II } 2 \text{ II } 3 \text{ II } 4 \text{ II } 5 \text{ II } 6 \text{ II } 7 \text{ II } 8 \text{ II } 9$

Maka,

ruang solusi = $S_1 \times S_2 \times S_3 \times S_4 \times S_5 \times S_6 \times S_7 \times S_8 \times S_9 \times \dots \times S_{81}$

2. Fungsi Pembangkit

Dinyatakan sebagai $T(k)$ yang membangkitkan nilai untuk $x(k)$, yang merupakan bagian himpunan solusi.

3. Fungsi Pembatas (*bounding space*)

Baris dinyatakan sebagai $B(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9)$

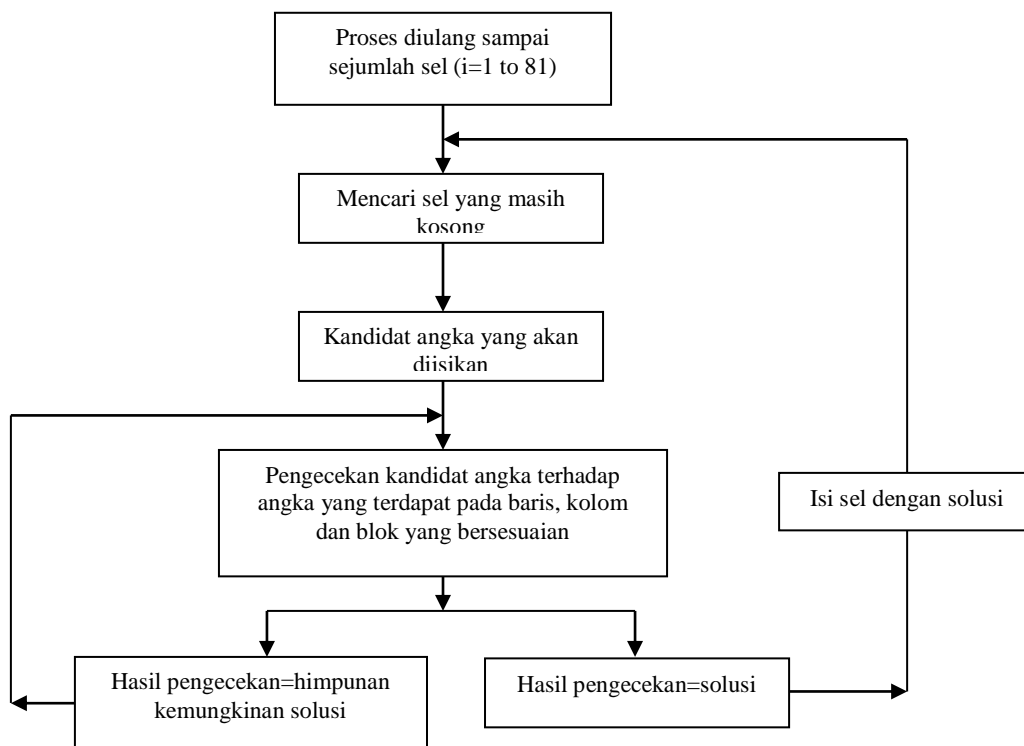
Kolom dinyatakan sebagai $K(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9)$

Blok/ *Subgrid* dinyatakan sebagai $G(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9)$

Fungsi pembatas =

$$\sum_{i=1}^k B_i K_i G_i = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9$$

4. Algoritma Backtracking sebagai Pemecahan Solusi Permasalahan Puzzle Sudoku



Gambar Diagram Blok Pencarian Solusi

Penggunaan algoritma *backtracking* ini akan terlihat dalam proses pengisian sel dengan sebuah angka dimana terdapat beberapa kemungkinan angka yang sesuai untuk sel tersebut. Pada pengisian selanjutnya, angka yang diisikan akan dicocokkan dengan angka-angka pada sel dalam baris, kolom dan subgrid yang bersesuaian. Metode membandingkan dan pencarian angka yang menuju ke solusi dilakukan secara rekursif. Proses pencarian solusi digambarkan pada diagram blok diatas.

Contoh pencarian solusi yang dapat dilakukan sebagai salah satu penerapan algoritma *backtracking*:

1. Pencarian sel yang kosong.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4 | | 8 | 7 | 5 | | 2 | 1 | |
| 2 | 3 | | | 4 | | | | | |
| 3 | 6 | 2 | | | | | 7 | 8 | |
| 4 | 2 | | | 8 | | | | | 1 |
| 5 | 1 | 5 | | | 2 | | | 9 | 7 |
| 6 | 9 | | | | | 1 | | | 2 |
| 7 | | 1 | 2 | | | | | 4 | 9 |
| 8 | | | | | | 5 | | | 6 |
| 9 | | 6 | 4 | | 1 | 3 | 5 | | 8 |

Gambar Pencarian sel kosong

Sel pertama yang kosong adalah pada baris ke-1 kolom ke-2.

2. Angka yang akan diisikan adalah 1,2,3,4,5,6,7,8,9.
3. Pencarian kandidat angka yang akan diisikan

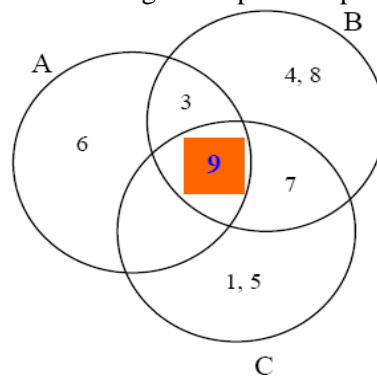
Kandidat angka yang mungkin adalah sebagai berikut:

Baris ke-1, kolom ke-2 ($S_{1,2}$)

- a. Kandidat yang mungkin pada baris ke-1, $B=\{3,6,9\}$
- b. Kandidat yang mungkin pada kolom ke-2, $K=\{3,4,7,8,9\}$
- c. Kandidat yang mungkin pada blok ke-1, $G=\{1,5,7,9\}$

4. Pengecekan

Pengecekan dapat direpresentasikan dengan himpunan seperti pada gambar berikut:



Gambar Himpunan Solusi

Himpunan A = {3,6,9}

Himpunan B = {3,4,7,8,9}

Himpunan C = {1,5,7,9}

$A \cap B \cap C = \{9\}$

Jadi, solusinya adalah 9.

5. Solusi diisikan pada sel tersebut.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 4 | 9 | 8 | 7 | 5 | | 2 | 1 | |
| 2 | 3 | | | 4 | | | | | |
| 3 | 6 | 2 | | | | | 7 | 8 | |
| 4 | 2 | | | 8 | | | | | 1 |
| 5 | 1 | 5 | | | 2 | | | 9 | 7 |
| 6 | 9 | | | | | 1 | | | 2 |
| 7 | | 1 | 2 | | | | | 4 | 9 |
| 8 | | | | | | 5 | | | 6 |
| 9 | | 6 | 4 | | 1 | 3 | 5 | | 8 |

Gambar Pengisian sel pertama dengan solusi

6. Selanjutnya melakukan pencarian sel yang kosong berikutnya yaitu sel pada baris ke-1 kolom ke-6. Proses dilakukan berulang-ulang sampai didapatkan solusi untuk sel yang kosong pada baris ke-1:

$$S_{1,6} = \{6\}, S_{1,9} = \{3\}$$

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 4 | 9 | 8 | 7 | 5 | 6 | 2 | 1 | 3 |
| 2 | 3 | | | 4 | | | | | |
| 3 | 6 | 2 | | | | | 7 | 8 | |
| 4 | 2 | | | 8 | | | | | 1 |
| 5 | 1 | 5 | | | 2 | | | 9 | 7 |
| 6 | 9 | | | | | 1 | | | 2 |
| 7 | | 1 | 2 | | | | | 4 | 9 |
| 8 | | | | | | 5 | | | 6 |
| 9 | | 6 | 4 | | 1 | 3 | 5 | | 8 |

Gambar Pengisian Solusi pada baris ke-1

7. Pencarian solusi pada baris ke-2 akan dihadapkan pada kasus yang berbeda yaitu terdapat himpunan solusi yang lebih dari satu. Dalam hal ini akan dilakukan *backtrack* ke kandidat angka yang lain. Hasil pengecekan berupa himpunan solusi akan disimpan yang kemudian dapat digunakan untuk proses *backtracking*.

Pencarian kandidat angka untuk baris ke-2:

$$S_{2,2} = \{7\}, S_{2,3} = \{1,5\}, S_{2,5} = \{6,8,9\}, S_{2,6} = \{2,6,8,9\},$$

$$S_{2,7} = \{6,9\}, S_{2,8} = \{5,6\}, S_{2,9} = \{5\}$$

8. Selanjutnya dilakukan *backtrack* berdasarkan himpunan solusi yang telah ada untuk masing-masing sel. Sehingga didapatkan solusi:

$$S_{2,2} = \{7\}, S_{2,3} = \{1\}, S_{2,5} = \{8\}, S_{2,6} = \{2\}, S_{2,7} = \{9\}$$

$$S_{2,8} = \{6\}, S_{2,9} = \{5\}$$

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 4 | 9 | 8 | 7 | 5 | 6 | 2 | 1 | 3 |
| 2 | 3 | 7 | 1 | 4 | 8 | 2 | 9 | 6 | 5 |
| 3 | 6 | 2 | | | | | 7 | 8 | |
| 4 | 2 | | | 8 | | | | | 1 |
| 5 | 1 | 5 | | | 2 | | | 9 | 7 |
| 6 | 9 | | | | | 1 | | | 2 |
| 7 | | 1 | 2 | | | | | 4 | 9 |
| 8 | | | | | | 5 | | | 6 |
| 9 | | 6 | 4 | | 1 | 3 | 5 | | 8 |

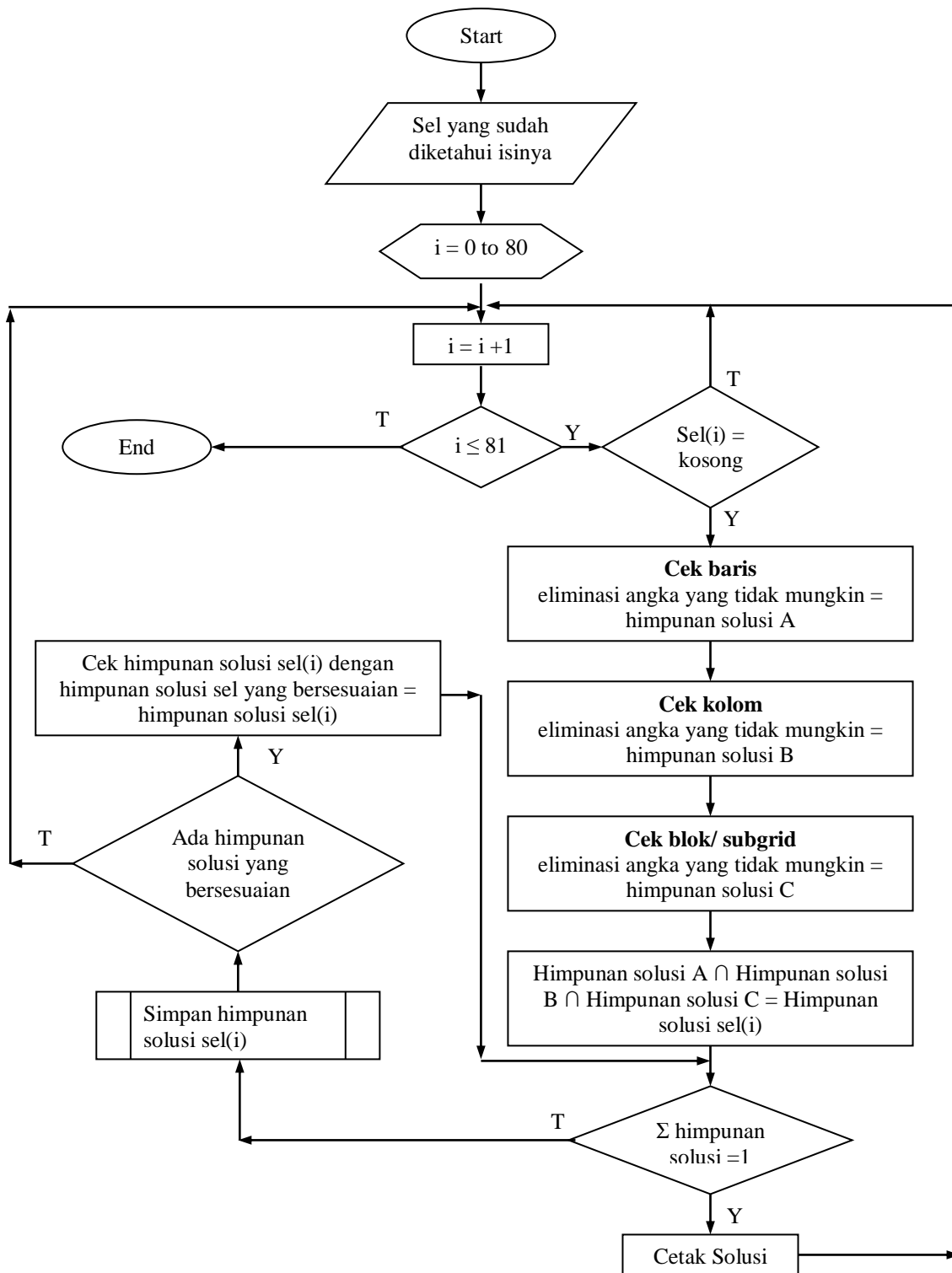
Gambar Pengisian Solusi pada baris ke-2

- Proses pencarian solusi dilakukan berulang-ulang sesuai jumlah sel yang masih kosong sampai seluruh sel terisi oleh angka menurut fungsi pembatas yang ada.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 4 | 9 | 8 | 7 | 5 | 6 | 2 | 1 | 3 |
| 2 | 3 | 7 | 1 | 4 | 8 | 2 | 9 | 6 | 5 |
| 3 | 6 | 2 | 5 | 1 | 3 | 9 | 7 | 8 | 4 |
| 4 | 2 | 4 | 3 | 8 | 9 | 7 | 6 | 5 | 1 |
| 5 | 1 | 5 | 6 | 3 | 2 | 4 | 8 | 9 | 7 |
| 6 | 9 | 8 | 7 | 5 | 6 | 1 | 4 | 3 | 2 |
| 7 | 5 | 1 | 2 | 6 | 7 | 8 | 3 | 4 | 9 |
| 8 | 8 | 3 | 9 | 2 | 4 | 5 | 1 | 7 | 6 |
| 9 | 7 | 6 | 4 | 9 | 1 | 3 | 5 | 2 | 8 |

Gambar Puzzle sudoku yang telah terselesaikan

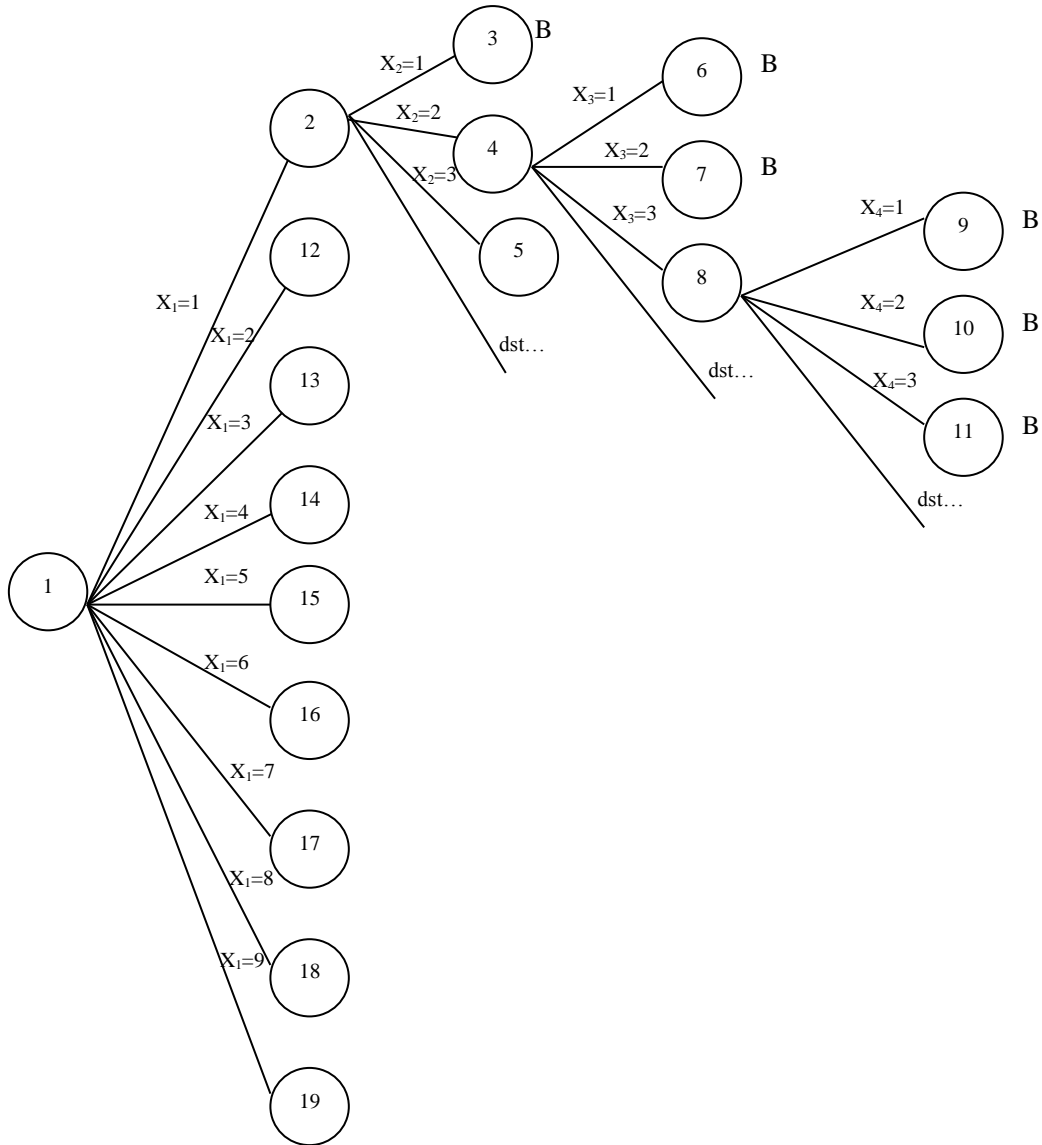
5. FlowChart pencarian solusi untuk game Sudoku



Gambar Flowchart pencarian solusi

6. Pohon Ruang Status (State Space Tree)

Pohon dinamis yang dibentuk selama pencarian solusi untuk persoalan *puzzle sudoku* dengan ukuran 9x9 adalah:



Gambar Pohon Ruang Status persoalan *puzzle sudoku*

7. Penerapan Algoritma

Algoritma *backtracking* sangat efektif dalam mengurangi jumlah pencarian kemungkinan solusi teka-teki. Menurut perhitungan ada sebanyak 6,670,903,752,021,072,936,960 jumlah kemungkinan status untuk teka-teki sudoku berukuran 9 x 9. Suatu angka yang sangat besar jika ingin dicari secara *brute-force*.

Garis besar algoritma *backtracking* untuk menyelesaikan teka-teki diberikan di bawah ini:

a. Masukan

- Matriks sel[1...9,1...9]
Sel [i,j] = *true*, jika solusi ditemukan.

- Sel $[i,j] = false$, jika solusi tidak ditemukan
 - Pengisian sel
Dinyatakan dengan *integer* 1,2,3,4,5,6,7,8,9.
- b. Keluaran**
X[1...9], yang dalam hal ini x[i] adalah angka untuk sel ke-i.
- c. Algoritma**
- Inisialisasi x[1...9] dengan 0
For i ← 1 to 9
 X[i] ← 0
Next i
 - Pemanggilan prosedur *SolusiSudoku(1)*

8. Implementasi Algoritma Backtracking dalam Visual Basic 6.0

a. Menu

Menu pada form utama terdiri dari:

1. Baru
Untuk menampilkan halaman inputan game baru.
2. Pilih Game
Untuk menampilkan halaman pemilihan game yang telah ada.
3. Cetak
Untuk melakukan pencetakan halaman.
4. Keterangan
Untuk melihat keterangan tentang game *sudoku*, program dan penulis.
5. Tutup Game
Untuk menutup program.

b. Tampilan Program

Aplikasi dibangun dari 4 buah form yang saling berhubungan. Form Utama seperti pada gambar berikut:



c. Kode Program

Penulisan kode program dilakukan dengan menggunakan fungsi rekursif seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

Algoritma *backtracking* dalam Visual Basic 6.0 sebagai berikut:

Declaration General

Dim N as integer ' *ukuran papan sudoku*
 Dim tabel(1...N^2)(1...N^2) ' *representasi papan sudoku*

Prosedur Utama

Private Sub solusi()
 Menyelesaikan teka-teki Sudoku pada papan $n^2 * n^2$, versi rekursif
 End sub

Algoritma

```

If (Selesai) then
    Exit sub                    ' Papan sudah selesai diisi dan program selesai
Else
    Updatetabel()    ' Update sel tabel yang masih kosong
    If (!ValidBaris) then
        Backtracking()
    Else
        ' jika baris valid maka periksa kolom
        If (!ValidKolom) then
            Backtracking()
        Else
            ' jika kolom valid maka periksa subgrid
            If (!ValidSubgrid) then
                Backtracking()
            Else
                ' jika subgrid valid maka panggil prosedur rekursif
                Solusi()
            End if
        End if
    End if
End if
    End if
End if
    
```

PENGUJIAN DAN ANALISA

1. Pengujian dan Analisa

Pengujian dan analisa pada aplikasi yang akan dilakukan meliputi: kemampuan menyelesaikan game, kebenaran solusi dan kecepatan menemukan solusi. Analisa hasil akan dilakukan dengan membandingkan penggunaan algoritma *Backtracking* dan algoritma *Brute Force* dalam menemukan solusi game *sudoku*.

a. Pengujian kemampuan

| No. | Nomor Game | Penyelesaian | Kebenaran |
|-----|------------|--------------|-----------|
| 1 | 108 | Berhasil | Berhasil |
| 2 | 112 | Berhasil | Berhasil |
| 3 | 113 | Berhasil | Berhasil |
| 4 | 114 | Berhasil | Berhasil |
| 5 | 115 | Berhasil | Berhasil |
| 6 | 116 | Berhasil | Berhasil |
| 7 | 117 | Berhasil | Berhasil |
| 8 | 118 | Berhasil | Berhasil |
| 9 | 119 | Berhasil | Berhasil |
| 10 | 120 | Berhasil | Berhasil |

Tabel Data pengujian kemampuan

b. Pengujian kecepatan

| Pengujian ke | Nomor Game | Waktu Penyelesaian (mili detik) |
|--------------|------------|---------------------------------|
| 1 | 108 | 2,32 |
| 2 | 112 | 2,35 |
| 3 | 113 | 2,78 |
| 4 | 114 | 3,01 |
| 5 | 115 | 2,41 |
| 6 | 116 | 2,56 |
| 7 | 117 | 2,35 |
| 8 | 118 | 2,33 |
| 9 | 119 | 2,68 |
| 10 | 120 | 2,79 |

Tabel Data pengujian kecepatan

Pengukuran pengujian kecepatan (waktu) menggunakan kontrol timer pada kotak komponen Visual Basic 6.0 dengan setting interval 1000.

c. Perbandingan dengan algoritma *Brute Force*

Dalam pengujian aplikasi sudoku solution dengan menggunakan algoritma *Backtracking* akan dilakukan juga perbandingan dengan menggunakan algoritma lainnya yaitu algoritma *Brute Force*. Pengujian perbandingan ini hanya mengukur kecepatan aplikasi dalam menemukan solusi untuk menyelesaikan game *sudoku*.

| No. | Nomor Game | Waktu Penyelesaian (mili detik) | |
|-----|------------|---------------------------------|-------------|
| | | Backtracking | Brute Force |
| 1 | 108 | 2,32 | 208 |
| 2 | 112 | 2,35 | 193 |
| 3 | 113 | 2,78 | 212 |
| 4 | 114 | 3,01 | 202 |

| | | | |
|----|-----|------|-----|
| 5 | 115 | 2,41 | 184 |
| 6 | 116 | 2,56 | 176 |
| 7 | 117 | 2,35 | 221 |
| 8 | 118 | 2,33 | 231 |
| 9 | 119 | 2,68 | 196 |
| 10 | 120 | 2,79 | 203 |

Tabel Data pengujian perbandingan dengan algoritma *Brute Force*

PENUTUP

1. Kesimpulan

Dari analisa-analisa yang telah dipaparkan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa:

1. Permainan teka-teki *Sudoku* dapat diselesaikan dengan algoritma *Backtracking*. Dengan menggunakan algoritma ini, teka-teki *Sudoku* dapat diselesaikan dan waktu untuk menyelesaikan teka-teki ini lebih singkat dibandingkan dengan algoritma *brute-force*.
2. Algoritma *Backtracking* sangat berguna untuk mencari solusi jalur kombinasi yang diperlukan untuk mendapatkan solusi secara optimal.
3. Algoritma *Backtracking* mudah diimplementasikan dengan bahasa pemrograman yang mendukung pemanggilan fungsi/ prosedur rekursif.
4. Penerapan algoritma menggunakan versi rekursif akan lebih menyederhanakan penulisan program, sehingga ruang memori yang diperlukan lebih kecil dan waktu eksekusi program lebih cepat jika dibandingkan dengan versi iteratif.

2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan demi pengembangan aplikasi penyelesaian game *sudoku* ini adalah :

1. Jika ingin menyelesaikan kasus dengan banyak kemungkinan seperti game *sudoku* beserta pengembangannya maka gunakanlah algoritma *Backtracking*.
2. Untuk mendapatkan hasil optimal, kombinasikan algoritma *Backtracking* ini dengan algoritma-algoritma yang lain.
3. Untuk alokasi memori yang akan dipakai untuk menyimpan langkah-langkah penyelesaian sebaiknya menggunakan *dynamic array*, karena sebagian besar program yang menggunakan algoritma ini menghasilkan solusi yang tidak dapat diprediksi.
4. Aplikasi *sudoku solution* dapat dikembangkan untuk ukuran matriks yang lebih sederhana (3x3, 4x4,, 8x8) serta dapat diganti dengan 9 huruf, lambang atau warna yang berbeda.
5. Permainan *Sudoku* sebaiknya dimainkan oleh anak-anak dengan matrik yang lebih kecil. Hal ini berguna untuk mengenalkan angka-angka tunggal pada anak.

DAFTAR PUSTAKA

Ajeng Wirasati, Ronny Adry. 2005. *ANALISA PENERAPAN ALGORITMA BACKTRACKING PADA GAME " CROSSWORD PUZZLE*. Sekolah Tinggi Teknologi Telkom. Bandung

Deasy Ramadiyan Sari, Wulan Widayari, Eunice Sherta Ria. 2005. *Penerapan Algoritma Backtracking pada Pewarnaan Graf*. Fakultas Teknologi Industri ITB. Bandung.

- D. L. Crispina Pardede. 2003. *HIMPUNAN DAN OPERASI BINER*, Teknik Informatika Universitas Gunadarma. Jakarta.
- DOCHI RAMADHANI. 2006. *Runut Balik*. E-learning Universitas Tanjungpura. diakses tanggal 12 Juni 2007 jam 18:10.
- <http://24.19.55.56:8080/temp/>. Holzner, Steven, 1998, *Visual Basic 6.0 Black Book*, The Coriolis Group.
- <http://www.abdrohim.com>. Rohim, U. A. MT, *Pemrograman III Visual Basic 6.0*.
- <http://www.lesantoso.com/sudoku-indonesia.html>. Lucky E. Santoso. 2007. *Sudoku Indonesia*. software developer, Jakarta. diakses tanggal 12 Juni 2007 jam 17.52.
- <http://www.conceptispuzzles.com/articles/sudoku/>. *History of Sudoku*. diakses tanggal 12 Juni 2007 jam 17.57.
- http://www.nikoli.co.jp/puzzles/1/index_text-e.htm. *Sudoku Outline*. diakses tanggal 12 Juni 2007 jam 17.57.
- <http://www.csse.uwa.edu.au/~gordon/sudokupat.php>. Gordon Royle, *Sudoku Patterns*. diakses tanggal 12 Juni 2007 jam 17.57.
- <http://sudoku.jouwpagina.nl>. *A listing of many Sudoku links*. Sudoku Forum. diakses tanggal 12 Juni 2007 jam 17.00.
- <http://www.sudoku.com/forums/viewtopic.php?t=995>. *A Variety of Sudoku Variants*. diakses tanggal 12 Juni 2007 jam 17.50.
- <http://mathworld.wolfram.com/Sudoku.html>. Eric W. Weisstein et al. "*Sudoku*" From MathWorld-- A Wolfram Web Resource. diakses tanggal 12 Juni 2007 jam 18.02.
- <http://www.Priatna.or.id>. Eka Priatna. 2006. *Sudoku Puzzles*. diakses tanggal 12 Juni 2007 jam 17.55.
- <http://hansmichael.com>. *Algoritma dan Pemrograman 2*. 2005. diakses tanggal 12 Juni 2007 jam 18.02.
- <http://id.wikipedia.org/wiki/Sudoku>. *Sudoku*. diakses tanggal 28 Februari 2007 jam 17:52.
- Ir. Rinaldi Munir, M.T. 2004. *Algoritma Runut-balik(Backtracking)*. Departemen Teknik Informatika Institut Teknologi Bandung.
- Meiliawati, Gede Yudha, Sukma Rahadian. 2005. *ANALISIS PENERAPAN ALGORITMA BACKTRACKING DALAM PENCARIAN SOLUSI PERMAINAN "THE KNIGHT IN THE GREEN CASTLE"*. Sekolah Tinggi Teknologi Telkom. Bandung.
- Michael Mepham. 2005. *SOLVING SUDOKU*. Crosswords Ltd.
- Morenvino, Ray A, Anton R. 2005. *Penerapan Algoritma Runut-Balik Untuk Penyelesaian Teka-Teki Sudoku*. Sekolah Tinggi Teknologi Telkom. Bandung.

Nunu Fachtiasmi, Jefry Herikson, Jurnal J. Hius. 2005. *Permainan Penyusunan Balok dengan BFS, DFS, dan Backtracking*. Sekolah Tinggi Teknologi Telkom. Bandung.

Saputra, Irwin. 2006. *Sudoku teka-teki baru yang Merangsang Kecerdasan Manusia (volume 6)*. Scientific Press. Jakarta.

Suyoto, Dr. 2004. *Intelegensi Buatan, Teori dan Pemrograman*. Penerbit Gava Media. Yogyakarta.

Syarif, Iwan. 2004. *Pengantar Algoritma & Pemrograman*. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (ITS).

Trisya Indah, Endang Amalia, Evalina Lia Y. 2005. *Algoritma Backtracking dan Penggunaannya*. Sekolah Tinggi Teknologi Telkom. Bandung.

Yudha Setia, Ditto Narapatama, Amahl AbdalKarim Salim. 2005 *Analisis Beberapa Algoritma Untuk Menyelesaikan Puzzle Sudoku*. Departemen Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung.