PENYELESAIAN *CRYPTARITHMETIC* (*CRYPTARITHM*) DENGAN ALGORITMA *BRUTE FORCE*

Laporan Tugas Kecil 1 IF 2211 Strategi Algoritma

Semester II Tahun 2020/2021

Oleh:

Dionisius Darryl Hermansyah

13519058 / Kelas 02

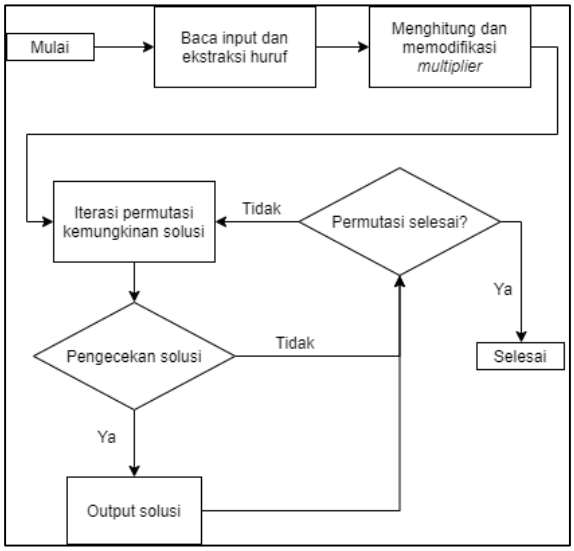
SEKOLAH TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA

INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

2021

I. ALGORITMA *BRUTE FORCE*

Algoritma *brute force* merupakan sebuah algoritma dengan pendekatan lempang dalam memecahkan sebuah persoalan. Pada tugas kecil kali ini, algoritma *brute force* digunakan untuk menyelesaikan persoalan *cryptarithmetic* atau *cryptarithm*, yang merupakan sebuah *puzzle* penjumlahan dalam matematika. Gambar 1 menunjukkan diagram alur algoritma program.



Gambar 1. Diagram alur algoritma program

Berikut merupakan penjelasan lebih lanjut mengenai algoritma penyelesaian *cryptarithm* menggunakan algoritma *brute force* dengan permutasi kemungkinan yang ada:

1. Dari input .txt yang telah dibaca dalam variable string, huruf-huruf alfabet yang ada pada kata-kata input, baik operan maupun hasil *cryptarithm*, diekstraksi dan digabungkan menjadi satu string beralfabet unik. Contohnya:

   ABC + BCD = CDE

   maka string yang dihasilkan adalah ABCDE.
2. Mencari *multiplier* atau pengali awal yang akan digunakan dalam algoritma *brute force* dengan menganggap sebuah kata menjadi angka matematik. Contohnya:

   ABC + BCD = CDE

   - Pada ABC, nilai A = 100, B = 10, C = 1
   - Pada CDE, nilai C = -100, D = -10, E = -1 (Bernilai positif untuk operan dan negatif untuk hasil).

3. Memodifikasi *multiplier* sedemikian rupa dengan aturan, jika operan mengandung huruf yang bersangkutan, maka akan ditambahkan ke *multiplier*, sedangkan jika hasil *cryptoarithm* mengandung huruf yang bersangkutan, maka *multiplier* akan dikurangi. Contohnya:

   ABC + BCD = CDE

   nilai *multiplier* keseluruhan adalah

   - A = 100
   - B = 10 + 100 = 110
   - C = 1 + 10 – 100 = -89
   - D = 1 – 10 = -9
   - E = -1
4. Seluruh kemungkinan solusi diiterasi dengan menggunakan teknik permutasi dengan mencobakan seluruh kombinasi angka yang mungkin, yakni dari angka 0-9 pada tiap huruf, kecuali huruf yang berada di awal tidak akan diujikan angka 0. Permutasi dilakukan pada list *iterator* yang telah disesuaikan dengan jumlah karakter yang ada.
5. Pada setiap iterasi, seluruh kemungkinan solusi akan diuji kebenarannya dengan aturan, perkalian titik (*dot product*) dari vektor *iterator* dan *multiplier* (dalam hal ini berupa *list*), harus bernilai hasil 0.
6. Melanjutkan iterasi ke tahap 4 hingga seluruh kombinasi permutasi telah selesai diuji.

II. SOURCE CODE PROGRAM

Program ini dibuat menggunakan bahasa C++. *Source code* yang dilampirkan telah disesuaikan kode, komentar, dan indentasinya agar lebih rapi dan singkat. Berikut merupakan *source code* dari program:

```
/* ***** IMPORT LIBRARIES ***** */
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <time.h>
#include <string.h>

using namespace std;

/* ***** HEADER FUNGSI ***** */
string getWord(string x);
// Mengekstrak kata dalam bentuk alfabet dari sebuah string alphanumerik
```

```
bool isCharValid(char x);
// Mereturn True apabila sebuah karakter valid
// Karakter valid adalah karakter antara 'A' dan 'Z'
// Karakter yang dianggap 'tak valid' adalah angka atau simbol

bool isCharInWord(char a, string b);
// Mereturn True apabila ada karakter a dalam string b

int findCharIdx(char a, string b);
// Mencari index suatu karakter a pada string b
// Jika a tidak ada dalam b, direturn -1

string eliminateDuplicateChar(string x);
// Menghapus karater yang tidak unik pada string
// Mereturn string dengan karakter unik

bool isAllElUnique(int arr[10]);
// Mengecek apakah semua elemen pada sebuah array of int unik

bool isSolution(int itr[10], int mul[10]);
// Mengecek apakah sebuah kombinasi iterator dan multiplier merupakan solusi
cryptarithms
// Kombinasi dikatakan sebagai solusi, jika total sum perkalian iterator dan
multiplier adalah 0

int power(int x, int y);
// Menghitung x pangkat y dengan brute force

/* ***** MAIN PROGRAM ***** */
int main(){
       bool exit = false;         // Status exit

       cout << "====================== CRYPTARITHMS ======================" << endl;
       cout << "=   Cryptoarithmetic Solver with Brute Force Algorithm   =" << endl;
       cout << "============================================================" << endl;
       cout << "=           Dionisius Darryl H / 13519058 / K2           =" << endl;
       cout << "============================================================" << endl;

       while (!exit) {
           /* Inisiasi Variabel */
           string filename;       // Nama file

           int nOp = 0;           // Jumlah operan
           int nSol = 0;          // Jumlah solusi
           int nTest = 0;         // Jumlah test yang dilakukan untuk suatu huruf

           int stt[10];           // Start
           int end[10];           // End

           int itr[10];           // Iterator
           int mul[10];           // Multiplier

           string reader;
           string c_opr[10];      // Operands cryptarithms
           string c_res;          // Hasil cryptarithms
           string c_char;         // Kumpulan huruf dalam cryparithms
           string c_all;          // All string dari cryptarithms

           string exit_option;    // Keluar program atau tidak

           clock_t t_awal;        // Perhitungan waktu awal
           clock_t t_akhir;       // Perhitungan waktu akhir
```

```
/* Read File .txt */
cout << endl << "Masukkan nama file: (Contoh: test-1)" << endl;
cin >> filename;

   filename = "test/" + filename + ".txt";
ifstream file (filename.c_str());

if (file.is_open()){
    while (reader[0] != '+'){
        getline(file, reader);
        c_opr[nOp] = reader;
        c_all += reader + "\n";
        nOp += 1;
    }

    getline (file, reader);   // Operan setelah tanda '+'
    c_all += reader + "\n";

    getline (file, reader);   // Hasil cryparithm
    c_res = reader;
    c_all += reader + "\n";

    file.close();
} else {
    cout << "File tidak ditemukan.";
}

cout << endl << "Masukkan anda: " << endl << c_all;

/* Mulai Perhitungan Waktu */
t_awal = clock();

/* Pengekstrakan Seluruh Alfabet ke dalam String */
for (int i=0; i<nOp; i++){
    c_char += getWord(c_opr[i]);
}

c_char = getWord(c_res)+c_char;
c_char = eliminateDuplicateChar(c_char);
int nChar = c_char.length(); // Banyaknya jumlah karakter

/* Inisiasi nilai array Start, End, Multiplier, dan Iterator */
for (int i=0; i<10; i++){
     stt[i]=0;
     end[i]=0;
     mul[i]=0;
     itr[i]=0;
}

/* Menghitung Multiplier */
for (int i=10-nChar; i<10; i++){
    stt[i] = 0;
    end[i] = 10;
    mul[i] = 0;

    // Proses operands
    string curr_oper;
    int curr_len;

    for (int j=0; j<nOp; j++){
        curr_oper = getWord(c_opr[j]);
        curr_len = curr_oper.length();
```

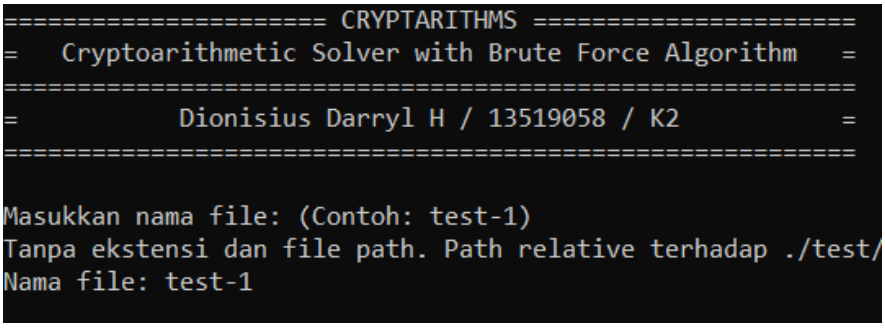
```
            for (int k=curr_len-1; k>=0; k--){
                if (curr_oper[k] == c_char[i-(10-nChar)]){
                    mul[i] += power(10, curr_len-k-1);
                    if (k == 0){
                        stt[i] = 1;
                    }
                }
            }
        }

         // Proses hasil
        curr_oper = getWord(c_res);
        curr_len = curr_oper.length();

        for (int j=curr_len-1; j>=0; j--){
            if (curr_oper[j] == c_char[i-(10-nChar)]){
                mul[i] -= power(10, curr_len-j-1);
                if (j == 0){
                    stt[i] = 1;
            }
         }
     }
}

/* Manipulasi Array Start dan End untuk Iterasi*/
for (int i=0; i<10-nChar; i++){
   stt[i] = 10+i;
   end[i] = stt[i]+1;
}

cout << endl << "Menghitung solusi..." << endl;

/* Permutasi Seluruh Kemungkinan Solusi */
for(itr[0] = stt[0]; itr[0]<end[0]; itr[0]++){
   nTest = 0;
   for(itr[1] = stt[1]; itr[1]<end[1]; itr[1]++){
     for(itr[2] = stt[2]; itr[2]<end[2]; itr[2]++){
        for(itr[3] = stt[3]; itr[3]<end[3]; itr[3]++){
           for(itr[4] = stt[4]; itr[4]<end[4]; itr[4]++){
              for(itr[5] = stt[5]; itr[5]<end[5]; itr[5]++){
                 for(itr[6] = stt[6]; itr[6]<end[6]; itr[6]++){
                    for(itr[7] = stt[7]; itr[7]<end[7]; itr[7]++){
                       for(itr[8] = stt[8]; itr[8]<end[8]; itr[8]++){
                         for(itr[9] = stt[9]; itr[9]<end[9]; itr[9]++){
                            if (isAllElUnique(itr)){
                               if (isSolution(itr, mul)){
                                   nSol += 1;
                                  cout << endl << "Solusi ke-" << nSol << endl;
                                  for (int i=0; i<c_all.length(); i++){
                                      if (isCharValid(c_all[i])){
                                          cout << c_all[i];
                                      else {
                                 cout << itr[findCharIdx(c_all[i],c_char)+10-nChar];
                                      }
                             }
cout << "Diperlukan " << nTest << " kali percobaan untuk menemukan solusi.";
                     } else {
                        nTest += 1;
                     } else {
                         nTest += 1;
                     }
                 }
```

```
                    }
                  }
                }
              }
            }
          }
        }
      }

     if (nSol == 0) {
        cout << "Tidak ada solusi yang memenuhi." << endl;
             }

       /* Perhitungan Waktu Eksekusi Program */
       t_akhir = clock();
       cout << "Waktu eksekusi" << (double)(t_akhir-t_awal)/CLOCKS_PER_SEC;

       /* Permintaan Exit Program */
       cout << endl << "Apakah anda ingin memproses file lain? (Y/N)" << endl;
       cin >> exit_option;

       if (exit_option == "N" || exit_option == "n"){
             exit = true;
       }
       cout << endl;
     }
    cout << "Terima kasih!";
    return 0;
}


/* ***** REALISASI FUNGSI ***** */
string getWord(string x){
    int n = 0;
    int len = x.length();
    char x_word[len];

    for (int i=0; i<len; i++){
        if (x[i] >= 65 && x[i] <= 90){
            x_word[n] = x[i];
            n += 1;
        }
    }
    x_word[n] = '\0';
    return x_word;
}

bool isCharValid(char x){
       return x < 'A' || x > 'Z';
}

bool isCharInWord(char a, string b){
    int n = 0;
    bool found = false;

    while (n < b.length() && !found){
        if (b[n] == a){
            found = true;
        }
        n += 1;
    }
    return found;
```

```
}

int findCharIdx(char a, string b){
    int n = 0;

    if (!isCharInWord(a, b)){
        return -1;
    }
    while (n < b.length()){
        if (b[n] == a){
            return n;
        }
        n += 1;
    }
}

string eliminateDuplicateChar(string x){
    int n = 0;
    int len = x.length();
    char res[len];

    for (int i=0; i<len; i++){
        if(!isCharInWord(x[i], res)){
            res[n] = x[i];
            n++;
        }
    }
    res[n] = '\0';
    return res;
}

bool isAllElUnique(int arr[10]){
    bool unique = true;

    for (int i=0; i<10; i++){
        for (int j=i+1; j<10; j++){
            if (arr[i] == arr[j]){
                unique = false;
                break;
            }
        }
    }
    return unique;
}

bool isSolution(int itr[10], int mul[10]){
    int sum = 0;

    for (int i=0; i<10; i++){
        sum += itr[i]*mul[i];
    }
    return sum == 0;
}

int power(int x, int y){
       int res = 1;
       for (int i=0; i<y; i++){
              res *= x;
       }
       return res;
}
```

III. INPUT DAN OUTPUT

Berikut ini merupakan contoh tampilan awal program:



Gambar 2. Tampilan awal program

Tabel 1. menunjukkan hasil test case sebanyak 8 kasus *cryptarithms* yang diambil dari website http://www.cryptarithms.com/default.asp?pg=1.

Tabel 1. Input dan output program

No	Input	Output
1	DOUBLE DOUBLE + TOIL ------- TROUBLE	Masukkan anda: DOUBLE DOUBLE + TOIL ------- TROUBLE Menghitung solusi... Solusi ke-1 798064 798064 + 1936 ------- 1598064 Diperlukan 53825823 kali percobaan untuk menemukan solusi. Waktu eksekusi program 70.15 detik.
2	COCA + COLA ------	

	OASIS	Masukkan anda:
		  COCA
		+ COLA
		 ------ 	
		 OASIS
		
		Menghitung solusi...
		
		Solusi ke-1
		  8186
		+ 8106
		 ------ 	
		 16292
		
		Diperlukan 56680 kali percobaan untuk menemukan solusi.
		
		Waktu eksekusi program 0.079 detik.

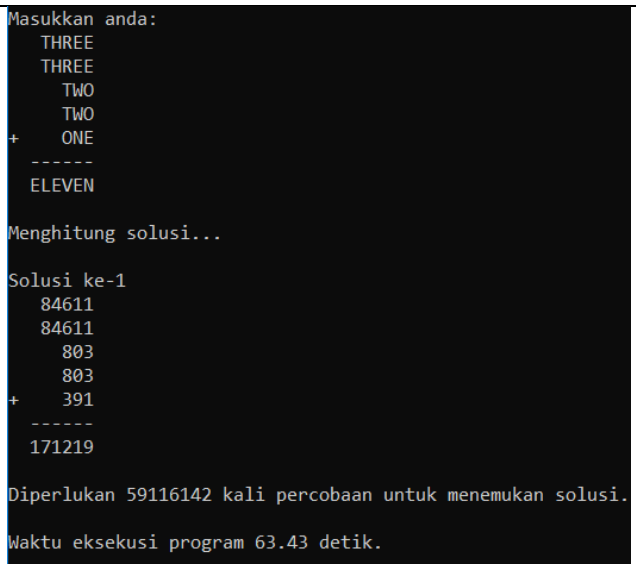
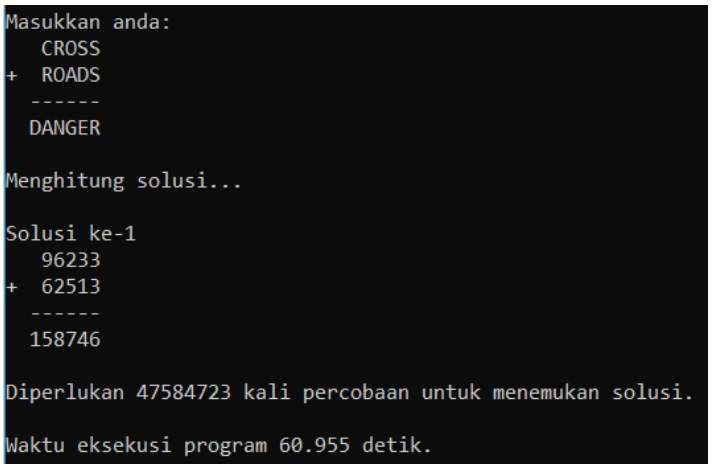
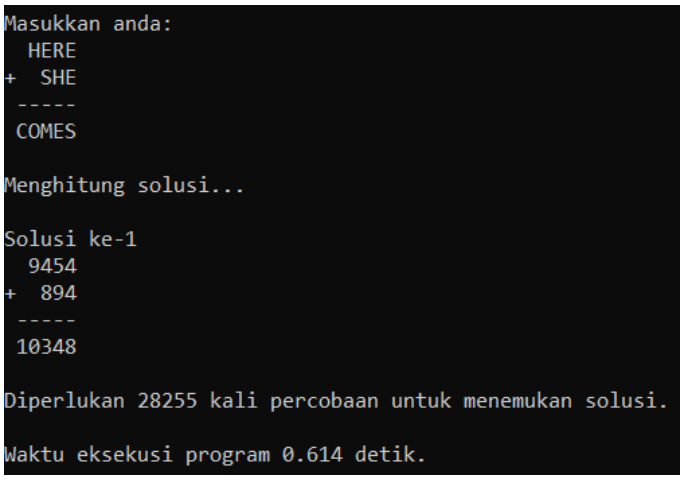
3	NUMBER
	+ NUMBER
	------ 	
	PUZZLE
		Masukkan anda:
		  NUMBER
		+ NUMBER
		  ------ 	
		  PUZZLE
		
		Menghitung solusi...
		
		Solusi ke-1
		  201689
		+ 201689
		  ------ 	
		  403378
		
		Diperlukan 273403169 kali percobaan untuk menemukan solusi.
		
		Waktu eksekusi program 78.373 detik.

4	NO GUN + NO ---- HUNT	

		Masukkan anda:
		  NO
		  GUN
		+ NO
		 ---- 	
		 HUNT
		
		Menghitung solusi...
		
		Solusi ke-1
		  87
		  908
		+ 87
		 ---- 	
		 1082
		
		Diperlukan 6551 kali percobaan untuk menemukan solusi.
		
		Waktu eksekusi program 0.074 detik.

5	MEMO
	+ FROM
	----- 	
	HOMER
		Masukkan anda:
		  MEMO
		+ FROM
		 ----- 	
		 HOMER
		
		Menghitung solusi...
		
		Solusi ke-1
		  8485
		+ 7358
		 ----- 	
		 15843
		
		Diperlukan 47193 kali percobaan untuk menemukan solusi.
		
		Waktu eksekusi program 0.077 detik.

6	THREE THREE TWO TWO + ONE ------ ELEVEN	

		
7	CROSS + ROADS ------ DANGER	
8	HERE + SHE ----- COMES	

Tabel 2. Evaluasi progran

Poin	Ya	Tidak
1. Program berhasil dikompilasi tanpa kesalahan (*no syntax error*)	V	
2. Program berhasil *running*	V	
3. Program dapat membaca file masukan dan menuliskan luaran.	V	
4. Solusi *cryptarithmetic* hanya benar untuk persoalan *cryptarihtmetic* dengan dua buah *operand*.		V
5. Solusi *cryptarithmetic* benar untuk persoalan *cryptarihtmetic* untuk lebih dari dua buah operand.	V	

IV. ALAMAT DRIVE

Berikut merupakan alamat *repository* GitHub dari *source code* yang digunakan, laporan, program .exe, beserta file test. Pastikan file test berada dalam direktori ./test/ ketika menguji program.

https://github.com/dionisiusdh/cryptarithmetic-solver

V. DAFTAR PUSTAKA

[1] Munir, R. 2021. *Algoritma Brute Force (Bagian 1)*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

[2] N.N. N.D. *Cryptarithms: Alphametics – Examples*, dilansir dari www.cryptarithms.com.

[3] N.N. N.D. *Cryptarithm*, dilansir dari www.basic-mathematics.com.