Laporan Milestone 3
Tugas Besar 1 IF2224 Teori Bahasa Formal dan Otomata
Semantic Analysis

Disusun oleh:
Maggie Zeta Rosida S - 13521117
Buege Mahara Putra - 13523037
Hanif Kalyana Aditya - 13523041
Jethro Jens Norbert Simatupang - 13523081

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
SEKOLAH TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
JL. GANESA 10, BANDUNG 40132
2025

BAB 1
LANDASAN TEORI

Sebuah program Pascal-S dapat dikatakan valid secara sintaks apabila setiap rangkaian token dapat diturunkan dari aturan produksi grammar yang diberikan. Hal ini ditangani pada bagian syntax analysis oleh compiler. Namun, sebuah program yang sintaksnya benar belum tentu benar secara makna. Sebagai contoh, grammar dapat menerima ekspresi atau pemanggilan prosedur yang bentuknya valid, tetapi melanggar aturan bahasa seperti penggunaan variabel yang belum dideklarasikan, ketidaksesuaian tipe data, atau pelanggaran aturan lingkup (*scope*). Oleh karena itu, diperlukan tahap pemeriksaan lanjutan, yaitu semantic analysis, untuk memastikan bahwa struktur program yang sudah benar secara sintaks juga konsisten secara semantik.

Pada tahap semantic analysis, compiler melakukan pemeriksaan terhadap aspek-aspek makna program, antara lain:

1. Konsistensi tipe data (*type checking*)

   Compiler memastikan operasi aritmatika/relasional/logika dilakukan pada operand yang kompatibel, serta memastikan tipe hasil ekspresi sesuai dengan konteks pemakaiannya.

2. Deklarasi dan penggunaan simbol

   Compiler memastikan setiap identifier (variabel, konstanta, fungsi, prosedur, tipe) telah dideklarasikan sebelum digunakan, serta mencegah deklarasi ganda pada scope yang sama.

3. Aturan lingkup (scope rule)

   Compiler membedakan identifier global dan lokal, serta memastikan akses identifier mengikuti aturan ruang lingkup blok pada Pascal-S.

4. Pernyataan dan alur kontrol

   Compiler memvalidasi kondisi pada if/while bertipe boolean, batas for valid, serta aturan khusus lain yang ditetapkan bahasa.

Secara implementasi, semantic analysis umumnya bekerja dengan melakukan traversing terhadap parse tree/AST dan menambahkan informasi semantik pada node. Proses ini disebut anotasi. Anotasi dapat berupa penambahan/penyimpanan atribut seperti:

- tipe data hasil ekspresi
- referensi identifier menuju entri pada symbol table,
- informasi scope/level blok,
- serta informasi lain yang dibutuhkan untuk tahap berikutnya (misalnya intermediate code generation).

1.1 Attributed Grammar

Attributed grammar adalah grammar yang dilengkapi dengan atribut (misalnya tipe data, nilai, atau informasi simbol) beserta aturan semantik untuk menghitung atribut tersebut. Dalam praktik compiler, atribut digunakan untuk melakukan type checking dan memastikan konsistensi semantik, misalnya menentukan tipe sebuah ekspresi berdasarkan tipe operand dan operatornya.

1.2 Symbol Table

Symbol table adalah struktur data yang menyimpan informasi mengenai simbol/identifier yang muncul pada program. Informasi minimal yang umumnya disimpan mencakup:

- nama identifier
- kategori simbol (variabel/konstanta/fungsi/prosedur/tipe
- tipe data
- scope/level blok tempat simbol didefinisikan
- (opsional) informasi tambahan seperti parameter fungsi/prosedur, tipe kembalian fungsi, alamat/offset memori, dsb.

Dalam bahasa yang memiliki blok dan scope bertingkat seperti Pascal-S, pengelolaan scope sering diimplementasikan menggunakan pendekatan stack atau stack of tables. Setiap memasuki blok baru dilakukan push tabel scope baru, dan saat keluar blok dilakukan pop. Dengan cara ini, pencarian identifier akan memprioritaskan deklarasi pada scope terdalam (paling atas stack) sebelum mencari ke scope luar.

1.3 Visitor / Visit Functions

Untuk melakukan semantic analysis secara terstruktur, digunakan pola Visitor (atau fungsi visit per jenis node). Untuk setiap jenis node pada parse tree/AST disediakan fungsi visit_<node>. Secara umum, fungsi visit akan:

1. memanggil visit pada child node (traversal),
2. mengakses atau memperbarui symbol table sesuai konstruksi bahasa (misalnya saat deklarasi),
3. menghitung atribut semantik (misalnya tipe ekspresi),
4. menambahkan anotasi pada node (misalnya node.type = ... atau node.symbol_ref = ...),
5. serta melaporkan error semantik jika ada pelanggaran aturan (misalnya “identifier belum dideklarasikan” atau “tipe tidak kompatibel”).

Dengan pendekatan ini, aturan semantik dapat diimplementasikan secara modular dan selaras dengan struktur grammar/parse tree yang sudah dibangun pada milestone sebelumnya.

BAB 2
PERANCANGAN & IMPLEMENTASI

2.1 Perancangan Sistem

2.1.1 Konsep Dasar

Semantic analyzer ini dirancang untuk menganalisis makna program Pascal-S setelah melalui tahap parsing. Komponen ini melakukan:

- Pembangunan AST dari parse tree menggunakan Syntax-Directed Translation
- Type checking untuk memvalidasi konsistensi tipe data
- Scope resolution dengan symbol table stack
- Dekorasi AST dengan informasi semantik (tipe, referensi symbol table, scope)

2.1.2 Arsitektur Sistem

```
semantic_analyzer/
├── AST Nodes (ast_nodes.py)
├── Symbol Table (symbol_table.py)
├── Semantic Analyzer (semantic_analyzer.py)
└── AST Printer (ast_printer.py)
```

Alur Kerja:

- Parse tree dari parser menjadi input
- Visitor functions mengunjungi setiap node
- Symbol table menyimpan informasi identifier
- AST dibangun dengan anotasi semantik
- Validasi type dan scope dilakukan selama traversal

2.2 Implementasi Symbol Table

2.2.1 Struktur Symbol Table

Symbol table mengimplementasi spesifikasi Pascal-S dengan tiga tabel terpisah:

```
class SymbolTable:
    def __init__(self):
        self.tab = []    # Identifier table (mulai index 29 untuk
user)
        self.btab = []   # Block table
        self.atab = []   # Array table
        self.display = [] # Stack untuk scope management
        self.level = -1  # Current lexical level
```

Penjelasan:

- `tab`: Menyimpan semua identifier (variabel, konstanta, prosedur, fungsi)
- `btab`: Menyimpan informasi block (scope) dengan linked list
- `atab`: Menyimpan informasi array (bounds, element type)
- `display`: Stack untuk mengelola nested scope

2.2.2 Inisialisasi Reserved Words

Symbol table diinisialisasi dengan reserved words Pascal-S pada indices 0-28:

```
def _init_reserved_words(self):
    # Types dasar: integer, real, boolean, char, string
    # Keywords: program, variabel, mulai, selesai, jika, maka, dll
    # Built-in procedures: writeln, readln, write, read
```

Reserved words sudah predefined sehingga user identifiers mulai dari index 29.

2.2.3 Manajemen Scope dengan Block Table

```
def enter_block(self) -> int:
    self.level += 1
    block_index = len(self.btab)
    self.btab.append({
        "last": 0,   # Pointer ke identifier terakhir dalam block
        "lpar": 0,   # Pointer ke parameter terakhir
        "psze": 0,   # Total ukuran parameter
        "vsze": 0    # Total ukuran variabel lokal
    })
    self.display.append(block_index)
    return block_index
```

Mekanisme Scope:

- Setiap procedure/function/membuka block membuat scope baru
- `display` stack melacak scope aktif
- `level` menunjukkan kedalaman nesting
- Linked list dalam `btab` menghubungkan identifiers dalam scope yang sama

2.3 Implementasi Visitor Pattern

2.3.1 Visitor Dispatch Mechanism

```
def visit(self, node: ParseNode) -> ASTNode:
    method_name = f'visit_{node.name.replace("<", "").replace(">",
"").replace("-", "_")}'
    method = getattr(self, method_name, self.visit_default)
    return method(node)
```

Cara Kerja:

- Setiap node parse tree memiliki fungsi visit khusus
- Nama method diturunkan dari nama node
- Fallback ke `visit_default` untuk node tanpa handler khusus

2.3.2 Semantic Actions untuk Production Rules

Assignment Statement:

```
def visit_assignment_statement(self, node: ParseNode) -> ASTNode:
    # Pattern: <variable> := <expression>
    target_node = self.visit(variable_child)
    value_node = self.visit(expression_child)

    # Type checking
    if not self.is_type_compatible(target_node.data_type,
value_node.data_type):
        self.error("Type mismatch in assignment")

    # Bangun AST node
    return AssignmentNode(target=target_node, value=value_node)
```

Binary Expressions:

```
def visit_expression(self, node: ParseNode) -> ASTNode:
    if len(node.children) == 1:
        # Single expression
        return self.visit(node.children[0])
    else:
        # Expression dengan operator
        left = self.visit(node.children[0])
        right = self.visit(node.children[2])
        operator = self._extract_operator(node.children[1])

        # Type inference untuk operasi
        result_type = self.get_expression_type(left.data_type,
right.data_type, operator)
        return BinaryExpressionNode(operator, left, right,
result_type)
```

Deklarasi Variabel:

```
def visit_var_declaration(self, node: ParseNode) -> ASTNode:
    identifiers = self.extract_identifiers(identifier_list_child)
    type_ast = self.visit(type_child)

    for identifier in identifiers:
        # Cek duplicate dalam scope yang sama
        if not self.check_duplicate_identifier(identifier):
            # Masukkan ke symbol table
            var_idx = self.symbol_table.enter_identifier(
                identifier, ObjType.VARIABLE,
type_ast.data_type.value
            )
            # Bangun VarDeclNode dengan referensi symbol table
            var_node = VarDeclNode(identifier, type_ast.data_type,
var_idx)

    return declaration_node
```

2.4 Type Checking System

2.4.1 Type Compatibility

```
def is_type_compatible(self, target_type: BaseType, source_type:
BaseType,
                       is_parameter: bool = False) -> bool:
    if target_type == source_type:
        return True

    # Implicit conversion: integer → real
    if target_type == BaseType.REAL and source_type ==
BaseType.INTEGER:
        return True

    # Strict checking untuk parameter functions
    if is_parameter:
        if target_type == BaseType.INTEGER and source_type ==
BaseType.REAL:
            return False  # Tidak boleh real → integer
        # Boolean dan char harus exact match
        if target_type in [BaseType.BOOLEAN, BaseType.CHAR]:
            return target_type == source_type

    return False
```

Aturan Type Checking:

- Assignment: target dan value harus compatible
- Parameter passing: strict type matching untuk beberapa tipe

- Operasi aritmetik: integer/real dengan hasil type inference
- Operasi relasional: selalu menghasilkan boolean

2.4.2 Expression Type Inference

```
def get_expression_type(self, left_type: BaseType, right_type:
BaseType,
                        operator: str) -> BaseType:
    # Arithmetic operators
    if operator in ['+', '-', '*', '/']:
        if left_type == BaseType.REAL or right_type ==
BaseType.REAL:
            return BaseType.REAL
        elif left_type == BaseType.INTEGER and right_type ==
BaseType.INTEGER:
            return BaseType.INTEGER

    # Relational operators
    elif operator in ['=', '<>', '<', '<=', '>', '>=']:
        return BaseType.BOOLEAN

    # Logical operators
    elif operator in ['dan', 'atau']:
        return BaseType.BOOLEAN

    return BaseType.VOID  # Error case
```

2.5 Scope Resolution

2.5.1 Identifier Lookup dengan Display Mechanism

```
def find_identifier(self, name: str) -> Optional[int]:
    # Search dari current level down ke global level
    for level in range(self.level, -1, -1):
        block_index = self.display[level]
        last_idx = self.btab[block_index]["last"]

        # Traverse linked list dalam block
        current_idx = last_idx
        while current_idx >= self.user_id_start:
            if self.tab[current_idx]["name"] == name:
                return current_idx
            current_idx = self.tab[current_idx]["link"]

    return None  # Identifier tidak ditemukan
```

Algoritma Pencarian:

- Mulai dari current scope (level tertinggi)
- Traverse linked list dalam block tersebut
- Jika tidak ditemukan, turun ke scope outer
- Ulangi hingga global scope
- Cek reserved words jika masih tidak ditemukan

2.5.2 Error Detection

```
def check_duplicate_identifier(self, name: str, token: Token =
None):
    existing_idx = self.symbol_table.find_identifier(name)
    if existing_idx is not None and
self.symbol_table.tab[existing_idx]["lev"] == self.level:
        self.error(f"Duplicate identifier '{name}'", token)
        return True
```

```
    return False
```

Validasi Semantic:

- Duplicate identifier dalam scope yang sama
- Undefined identifier references
- Type mismatches dalam assignments dan operations
- Constant assignment protection

2.6 Pembangunan Decorated AST

2.6.1 Struktur AST Node dengan Anotasi

```
@dataclass
class ASTNode:
    node_type: str           # Jenis node (Program, Assignment, dll)
    children: List[ASTNode]  # Child nodes
    token: Optional[Token]   # Token source (untuk error reporting)
    data_type: Optional[BaseType]  # Tipe ekspresi (hasil type
inference)
    tab_index: int = -1      # Referensi ke symbol table (tab)
    block_index: int = -1    # Informasi scope (btab reference)
```

Specialized Nodes:

- `ProgramNode`: Root node dengan nama program
- `VarDeclNode`: Deklarasi variabel dengan identifier dan type
- `AssignmentNode`: Assignment statement dengan target dan value
- `BinaryExpressionNode`: Operasi binary dengan operator
- `ProcedureCallNode`: Pemanggilan procedure dengan parameters

2.7 Proses Semantic Analysis

2.7.1 Main Analysis Loop

```
def analyze(self, parse_tree: ParseNode) -> ASTNode:
    # Inisialisasi
    self.errors.clear()
    self.symbol_table = SymbolTable()

    # Enter global scope
    global_block_idx = self.symbol_table.enter_block()

    # Traverse parse tree dan bangun AST
    self.current_ast = self.visit(parse_tree)

    # Validasi tambahan
    self.validate_variable_initialization()
    self.check_unresolved_references()

    # Output decorated AST dan symbol tables
    return self.current_ast
```

2.7.2 Validasi Semantic Tambahan

```
def validate_variable_initialization(self):
    """Deteksi penggunaan variabel sebelum inisialisasi"""
    assigned_vars = set()

    def track_usage(node):
        if isinstance(node, AssignmentNode):
            # Track variabel yang di-assign
            target = node.children[0]
            if isinstance(target, VariableNode):
                assigned_vars.add(target.identifier)
        elif isinstance(node, VariableNode):
            # Cek jika variabel digunakan sebelum di-assign
            if (node.identifier not in assigned_vars and
                not self._is_parameter(node)):
                self.warning(f"Variable '{node.identifier}' might be
uninitialized")

    self._traverse_ast(track_usage)
```

2.8 Error Handling

2.8.1 Semantic Error Types

```
def error(self, message: str, token: Token = None):
    if token:
        location = f" at line {token.line}, column {token.column}"
    else:
        location = ""
    self.errors.append(f"Semantic Error{location}: {message}")
```

Jenis Error yang Dideteksi:

- Type mismatches: Assignment, parameter passing, operations
- Scope violations: Undefined identifiers, duplicate declarations
- Constant assignment: Attempt to modify constants
- Array bounds: Index out of range
- Parameter count: Mismatch in procedure/function calls

2.8.2 Recovery Mechanism

- Error tidak menghentikan proses analysis
- Multiple errors dapat dideteksi dalam satu run
- AST tetap dibangun untuk bagian yang valid
- Error messages informatif dengan lokasi token

BAB 3
PENGUJIAN

3.1 Kasus Uji 1

Input 1:

```
program Input1;
konstanta
  MAX = 100;
  MIN = 1;
tipe
  Range = 1..10;
  ArrayInt = larik[1..10] dari integer;
variabel
  a, b, c: integer;
  arr: ArrayInt;
mulai
  a := MAX;
  b := MIN;
  c := a + b;
selesai.
```

Output 1:

```
=== SEMANTIC ANALYSIS ===

=== DECORATED AST ===
ProgramNode(name: 'Input1')
 ├─ Declarations
 │    ├─ ConstDecl → tab_index:33, type:integer, lev:0
 │    ├─ ConstDecl → tab_index:34, type:integer, lev:0
 │    ├─ TypeDecl → tab_index:35, type:integer, lev:0
 │    ├─ TypeDecl → tab_index:36, type:array, lev:0
 │    ├─ VarDecl('a') → tab_index:37, type:integer, lev:0
 │    ├─ VarDecl('b') → tab_index:38, type:integer, lev:0
 │    ├─ VarDecl('c') → tab_index:39, type:integer, lev:0
 │    └─ VarDecl('arr') → tab_index:40, type:array, lev:0
 └─ Block → block_index:1, lev:1
      ├─ Assign('a' := ConstIdentifier(type=BaseType.INTEGER,
tab_idx=33)) → type:void
      │    ├─ target 'a' → tab_index:37, type:integer
      │    └─ value ConstIdentifier(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=33)
→ type:integer
      ├─ Assign('b' := ConstIdentifier(type=BaseType.INTEGER,
tab_idx=34)) → type:void
      │    ├─ target 'b' → tab_index:38, type:integer
      │    └─ value ConstIdentifier(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=34)
→ type:integer
      └─ Assign('c' := 'a'+Var('b')) → type:void
           ├─ target 'c' → tab_index:39, type:integer
           └─ BinOp '+' → type:integer
                ├─ 'a' → tab_index:37, type:integer
                └─ 'b' → tab_index:38, type:integer

=== SYMBOL TABLES ===

Identifier Table (tab):
Idx  Name        Obj        Type    Ref  Nrm  Lev  Adr  Link
------------------------------------------------------------
  0  program     PROGRAM    VOID      0    1    0    0     0
  1  variabel    TYPE       VOID      0    1    0    0     0
  2  mulai       TYPE       VOID      0    1    0    0     1
  3  selesai     TYPE       VOID      0    1    0    0     2
  4  jika        TYPE       VOID      0    1    0    0     3
  5  maka        TYPE       VOID      0    1    0    0     4
```

```
  6  selainitu   TYPE        VOID      0    1    0    0     5
  7  selama      TYPE        VOID      0    1    0    0     6
  8  lakukan     TYPE        VOID      0    1    0    0     7
  9  untuk       TYPE        VOID      0    1    0    0     8
 10  ke          TYPE        VOID      0    1    0    0     9
 11  turunke     TYPE        VOID      0    1    0    0    10
 12  larik       TYPE        ARRAY     0    1    0    0    11
 13  dari        TYPE        VOID      0    1    0    0    12
 14  prosedur    PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    13
 15  fungsi      FUNCTION    VOID      0    1    0    0    14
 16  konstanta   CONSTANT    VOID      0    1    0    0    15
 17  tipe        TYPE        VOID      0    1    0    0    16
 18  kasus       TYPE        VOID      0    1    0    0    17
 19  rekaman     TYPE        RECORD    0    1    0    0    18
 20  ulangi      TYPE        VOID      0    1    0    0    19
 21  sampai      TYPE        VOID      0    1    0    0    20
 22  integer     TYPE        INTEGER    0    1    0    0    21
 23  real        TYPE        REAL      0    1    0    0    22
 24  boolean     TYPE        BOOLEAN    0    1    0    0    23
 25  char        TYPE        CHAR      0    1    0    0    24
 26  string      TYPE        STRING    0    1    0    0    25
 27  writeln     PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    26
 28  readln      PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    27
 29  write       PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    28
 30  read        PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    29
 32  Input1      PROGRAM     VOID      0    1    0    0     0
 33  MAX         CONSTANT    INTEGER    0    1    0    0    32
 34  MIN         CONSTANT    INTEGER    0    1    0    0    33
 35  Range       TYPE        INTEGER    0    1    0    0    34
 36  ArrayInt    TYPE        ARRAY     0    1    0    0    35
 37  a           VARIABLE    INTEGER    0    1    0    0    36
 38  b           VARIABLE    INTEGER    0    1    0    1    37
 39  c           VARIABLE    INTEGER    0    1    0    2    38
 40  arr         VARIABLE    ARRAY     0    1    0    3    39

Block Table (btab):
Idx  Last  Lpar  Psze  Vsze
------------------------
  0    40     0     0     4
  1     0     0     0     0

Array Table (atab):
Idx  IdxType  ElemType  Eref  Low  High  ElemSize  Size
-------------------------------------------------
  0  INTEGER  INTEGER      0    1    10         1    10

✓ No semantic errors found
```

Screenshot 1:

```
PS C:\Users\Acer\Downloads\FRT-Tubes-IF2224> python -m src.compiler test/milestone-3/input-1.pas
=== SEMANTIC ANALYSIS ===

=== DECORATED AST ===
ProgramNode(name: 'Input1')
  ├─ Declarations
  │    ├─ ConstDecl → tab_index:33, type:integer, lev:0
  │    ├─ ConstDecl → tab_index:34, type:integer, lev:0
  │    ├─ TypeDecl → tab_index:35, type:integer, lev:0
  │    ├─ TypeDecl → tab_index:36, type:array, lev:0
  │    ├─ VarDecl('a') → tab_index:37, type:integer, lev:0
  │    ├─ VarDecl('b') → tab_index:38, type:integer, lev:0
  │    ├─ VarDecl('c') → tab_index:39, type:integer, lev:0
  │    └─ VarDecl('arr') → tab_index:40, type:array, lev:0
  └─ Block → block_index:1, lev:1
       ├─ Assign('a' := ConstIdentifier(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=33)) → type:void
       │    ├─ target 'a' → tab_index:37, type:integer
       │    └─ value ConstIdentifier(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=33) → type:integer
       ├─ Assign('b' := ConstIdentifier(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=34)) → type:void
       │    ├─ target 'b' → tab_index:38, type:integer
       │    └─ value ConstIdentifier(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=34) → type:integer
       └─ Assign('c' := 'a'+Var('b')) → type:void
            ├─ target 'c' → tab_index:39, type:integer
            └─ BinOp '+' → type:integer
                 ├─ 'a' → tab_index:37, type:integer
                 └─ 'b' → tab_index:38, type:integer

=== SYMBOL TABLES ===

Identifier Table (tab):
Idx  Name        Obj        Type     Ref  Nrm  Lev  Adr  Link
------------------------------------------------------------
  0  program     PROGRAM    VOID       0    1    0    0     0
  1  variabel    TYPE       VOID       0    1    0    0     0
  2  mulai       TYPE       VOID       0    1    0    0     1
  3  selesai     TYPE       VOID       0    1    0    0     2
  4  jika        TYPE       VOID       0    1    0    0     3
  5  maka        TYPE       VOID       0    1    0    0     4
  6  selainitu   TYPE       VOID       0    1    0    0     5
  7  selama      TYPE       VOID       0    1    0    0     6
  8  lakukan     TYPE       VOID       0    1    0    0     7
  9  untuk       TYPE       VOID       0    1    0    0     8
 10  ke          TYPE       VOID       0    1    0    0     9
 11  turunke     TYPE       VOID       0    1    0    0    10
 12  larik       TYPE       ARRAY      0    1    0    0    11
 13  dari        TYPE       VOID       0    1    0    0    12
 14  prosedur    PROCEDURE  VOID       0    1    0    0    13
 15  fungsi      FUNCTION   VOID       0    1    0    0    14
 16  konstanta   CONSTANT   VOID       0    1    0    0    15
 17  tipe        TYPE       VOID       0    1    0    0    16
```

```
PS C:\Users\Acer\Downloads\FRT-Tubes-IF2224> python -m src.compiler test/milestone-3/input-1.pas
 17  tipe        TYPE       VOID       0    1    0    0    16
 18  kasus       TYPE       VOID       0    1    0    0    17
 19  rekaman     TYPE       RECORD     0    1    0    0    18
 20  ulangi      TYPE       VOID       0    1    0    0    19
 21  sampai      TYPE       VOID       0    1    0    0    20
 22  integer     TYPE       INTEGER    0    1    0    0    21
 23  real        TYPE       REAL       0    1    0    0    22
 24  boolean     TYPE       BOOLEAN    0    1    0    0    23
 25  char        TYPE       CHAR       0    1    0    0    24
 26  string      TYPE       STRING     0    1    0    0    25
 27  writeln     PROCEDURE  VOID       0    1    0    0    26
 28  readln      PROCEDURE  VOID       0    1    0    0    27
 29  write       PROCEDURE  VOID       0    1    0    0    28
 30  read        PROCEDURE  VOID       0    1    0    0    29
 32  Input1      PROGRAM    VOID       0    1    0    0     0
 33  MAX         CONSTANT   INTEGER    0    1    0    0    32
 34  MIN         CONSTANT   INTEGER    0    1    0    0    33
 35  Range       TYPE       INTEGER    0    1    0    0    34
 36  ArrayInt    TYPE       ARRAY      0    1    0    0    35
 37  a           VARIABLE   INTEGER    0    1    0    0    36
 38  b           VARIABLE   INTEGER    0    1    0    1    37
 39  c           VARIABLE   INTEGER    0    1    0    2    38
 40  arr         VARIABLE   ARRAY      0    1    0    3    39

Block Table (btab):
Idx  Last  Lpar  Psze  Vsze
-------------------------
  0    40     0     0     4
  1     0     0     0     0

Array Table (atab):
Idx  IdxType  ElemType  Eref  Low  High  ElemSize  Size
-----------------------------------------------------
  0  INTEGER  INTEGER      0    1    10         1    10

✓ No semantic errors found
PS C:\Users\Acer\Downloads\FRT-Tubes-IF2224>
```

3.2 Kasus Uji 2

Input 2:

```
program Input3;
tipe
  Point = rekaman
    x, y: integer;
  selesai;
  Matrix = larik[1..3, 1..3] dari real;
variabel
```

```
  p: Point;
  m: Matrix;
mulai
  p.x := 10;
  p.y := 20;
  m[1,1] := 1.5;
selesai.
```

Output 2:

```
=== SEMANTIC ANALYSIS ===

=== DECORATED AST ===
ProgramNode(name: 'Input3')
 ├─ Declarations
 │    ├─ TypeDecl → tab_index:33, type:void, lev:0
 │    ├─ TypeDecl → tab_index:34, type:array, lev:0
 │    ├─ VarDecl('p') → tab_index:35, type:void, lev:0
 │    └─ VarDecl('m') → tab_index:36, type:array, lev:0
 └─ Block → block_index:1, lev:1
      ├─ Assign('p' := 10) → type:void
      │    ├─ target 'p' → tab_index:35, type:void
      │    └─ value 10 → type:integer
      ├─ Assign('p' := 20) → type:void
      │    ├─ target 'p' → tab_index:35, type:void
      │    └─ value 20 → type:integer
      └─ Assign('m' := 1.5) → type:void
           ├─ target 'm' → tab_index:36, type:real
           └─ value 1.5 → type:real

=== SYMBOL TABLES ===

Identifier Table (tab):
Idx  Name        Obj         Type     Ref  Nrm  Lev  Adr  Link
------------------------------------------------------------
  0  program     PROGRAM     VOID       0    1    0    0     0
  1  variabel    TYPE        VOID       0    1    0    0     0
  2  mulai       TYPE        VOID       0    1    0    0     1
  3  selesai     TYPE        VOID       0    1    0    0     2
  4  jika        TYPE        VOID       0    1    0    0     3
  5  maka        TYPE        VOID       0    1    0    0     4
  6  selainitu   TYPE        VOID       0    1    0    0     5
  7  selama      TYPE        VOID       0    1    0    0     6
  8  lakukan     TYPE        VOID       0    1    0    0     7
  9  untuk       TYPE        VOID       0    1    0    0     8
 10  ke          TYPE        VOID       0    1    0    0     9
 11  turunke     TYPE        VOID       0    1    0    0    10
 12  larik       TYPE        ARRAY      0    1    0    0    11
 13  dari        TYPE        VOID       0    1    0    0    12
 14  prosedur    PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    13
 15  fungsi      FUNCTION    VOID       0    1    0    0    14
 16  konstanta   CONSTANT    VOID       0    1    0    0    15
 17  tipe        TYPE        VOID       0    1    0    0    16
 18  kasus       TYPE        VOID       0    1    0    0    17
 19  rekaman     TYPE        RECORD     0    1    0    0    18
 20  ulangi      TYPE        VOID       0    1    0    0    19
 21  sampai      TYPE        VOID       0    1    0    0    20
 22  integer     TYPE        INTEGER    0    1    0    0    21
 23  real        TYPE        REAL       0    1    0    0    22
 24  boolean     TYPE        BOOLEAN    0    1    0    0    23
 25  char        TYPE        CHAR       0    1    0    0    24
 26  string      TYPE        STRING     0    1    0    0    25
 27  writeln     PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    26
 28  readln      PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    27
 29  write       PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    28
 30  read        PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    29
```

```
 32   Input3       PROGRAM      VOID       0     1     0     0      0
 33   Point        TYPE         VOID       0     1     0     0     32
 34   Matrix       TYPE         ARRAY      0     1     0     0     33
 35   p            VARIABLE     VOID       0     1     0     0     34
 36   m            VARIABLE     ARRAY      0     1     0     1     35

Block Table (btab):
Idx   Last   Lpar   Psze   Vsze
-------------------------
  0     36      0      0      2
  1      0      0      0      0

Array Table (atab):
Idx   IdxType   ElemType   Eref   Low   High   ElemSize   Size
-------------------------------------------------
  0   INTEGER   REAL          0     1      3          1      3

✓ No semantic errors found
```

Screenshot 2:

```
PS C:\Users\Acer\Downloads\FRT-Tubes-IF2224> python -m src.compiler test/milestone-3/input-3.pas
=== SEMANTIC ANALYSIS ===

=== DECORATED AST ===
ProgramNode(name: 'Input3')
  ├─ Declarations
  │    ├─ TypeDecl → tab_index:33, type:void, lev:0
  │    ├─ TypeDecl → tab_index:34, type:array, lev:0
  │    ├─ VarDecl('p') → tab_index:35, type:void, lev:0
  │    └─ VarDecl('m') → tab_index:36, type:array, lev:0
  └─ Block → block_index:1, lev:1
       ├─ Assign('p' := 10) → type:void
       │    ├─ target 'p' → tab_index:35, type:void
       │    └─ value 10 → type:integer
       ├─ Assign('p' := 20) → type:void
       │    ├─ target 'p' → tab_index:35, type:void
       │    └─ value 20 → type:integer
       └─ Assign('m' := 1.5) → type:void
            ├─ target 'm' → tab_index:36, type:real
            └─ value 1.5 → type:real

=== SYMBOL TABLES ===

Identifier Table (tab):
Idx  Name        Obj        Type     Ref  Nrm  Lev  Adr  Link
------------------------------------------------------------
  0  program     PROGRAM    VOID       0    1    0    0     0
  1  variabel    TYPE       VOID       0    1    0    0     0
  2  mulai       TYPE       VOID       0    1    0    0     1
  3  selesai     TYPE       VOID       0    1    0    0     2
  4  jika        TYPE       VOID       0    1    0    0     3
  5  maka        TYPE       VOID       0    1    0    0     4
  6  selainitu   TYPE       VOID       0    1    0    0     5
  7  selama      TYPE       VOID       0    1    0    0     6
  8  lakukan     TYPE       VOID       0    1    0    0     7
  9  untuk       TYPE       VOID       0    1    0    0     8
 10  ke          TYPE       VOID       0    1    0    0     9
 11  turunke     TYPE       VOID       0    1    0    0    10
 12  larik       TYPE       ARRAY      0    1    0    0    11
 13  dari        TYPE       VOID       0    1    0    0    12
 14  prosedur    PROCEDURE  VOID       0    1    0    0    13
 15  fungsi      FUNCTION   VOID       0    1    0    0    14
 16  konstanta   CONSTANT   VOID       0    1    0    0    15
 17  tipe        TYPE       VOID       0    1    0    0    16
 18  kasus       TYPE       VOID       0    1    0    0    17
 19  rekaman     TYPE       RECORD     0    1    0    0    18
 20  ulangi      TYPE       VOID       0    1    0    0    19
 21  sampai      TYPE       VOID       0    1    0    0    20
 22  integer     TYPE       INTEGER    0    1    0    0    21
 23  real        TYPE       REAL       0    1    0    0    22
```

```
 23  real        TYPE        REAL      0    1    0    0    22
 24  boolean     TYPE        BOOLEAN    0    1    0    0    23
 25  char        TYPE        CHAR      0    1    0    0    24
 26  string      TYPE        STRING    0    1    0    0    25
 27  writeln     PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    26
 28  readln      PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    27
 29  write       PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    28
 30  read        PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    29
 32  Input3      PROGRAM     VOID      0    1    0    0     0
 33  Point       TYPE        VOID      0    1    0    0    32
 34  Matrix      TYPE        ARRAY     0    1    0    0    33
 35  p           VARIABLE    VOID      0    1    0    0    34
 36  m           VARIABLE    ARRAY     0    1    0    1    35

Block Table (btab):
Idx  Last  Lpar  Psze  Vsze
------------------------
  0    36     0     0     2
  1     0     0     0     0

Array Table (atab):
Idx  IdxType  ElemType  Eref  Low  High  ElemSize  Size
-----------------------------------------------------
  0  INTEGER  REAL         0    1     3         1     3

✓ No semantic errors found
PS C:\Users\Acer\Downloads\FRT-Tubes-IF2224>
```

3.3 Kasus Uji 3

Input 3:

```
program Input12;
variabel x: integer;
mulai
  ulangi
    x := x + 1;
  sampai x = 5;
  kasus x dari
    1: writeln('one');
    2: writeln('two');
  selesai;
selesai.
```

Output 3:

```
=== SEMANTIC ANALYSIS ===

=== DECORATED AST ===
ProgramNode(name: 'Input12')
  ├─ Declarations
  │    └─ VarDecl('x') → tab_index:33, type:integer, lev:0
  └─ Block → block_index:1, lev:1
       │    │    └─ Assign('x' := 'x'+1) → type:void
       │    │         ├─ target 'x' → tab_index:33, type:integer
       │    │         └─ BinOp '+' → type:integer
       │    │              ├─ 'x' → tab_index:33, type:integer
       │    │              └─ 1 → type:integer
       │    └─ writeln(...) → predefined, tab_index:27
       │    └─ writeln(...) → predefined, tab_index:27

=== SYMBOL TABLES ===

Identifier Table (tab):
Idx  Name         Obj         Type     Ref  Nrm  Lev  Adr  Link
-------------------------------------------------------------
  0  program      PROGRAM     VOID       0    1    0    0     0
  1  variabel     TYPE        VOID       0    1    0    0     0
  2  mulai        TYPE        VOID       0    1    0    0     1
  3  selesai      TYPE        VOID       0    1    0    0     2
  4  jika         TYPE        VOID       0    1    0    0     3
  5  maka         TYPE        VOID       0    1    0    0     4
  6  selainitu    TYPE        VOID       0    1    0    0     5
  7  selama       TYPE        VOID       0    1    0    0     6
  8  lakukan      TYPE        VOID       0    1    0    0     7
  9  untuk        TYPE        VOID       0    1    0    0     8
```

```
 10  ke           TYPE        VOID      0    1    0    0     9
 11  turunke      TYPE        VOID      0    1    0    0    10
 12  larik        TYPE        ARRAY     0    1    0    0    11
 13  dari         TYPE        VOID      0    1    0    0    12
 14  prosedur     PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    13
 15  fungsi       FUNCTION    VOID      0    1    0    0    14
 16  konstanta    CONSTANT    VOID      0    1    0    0    15
 17  tipe         TYPE        VOID      0    1    0    0    16
 18  kasus        TYPE        VOID      0    1    0    0    17
 19  rekaman      TYPE        RECORD    0    1    0    0    18
 20  ulangi       TYPE        VOID      0    1    0    0    19
 21  sampai       TYPE        VOID      0    1    0    0    20
 22  integer      TYPE        INTEGER   0    1    0    0    21
 23  real         TYPE        REAL      0    1    0    0    22
 24  boolean      TYPE        BOOLEAN   0    1    0    0    23
 25  char         TYPE        CHAR      0    1    0    0    24
 26  string       TYPE        STRING    0    1    0    0    25
 27  writeln      PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    26
 28  readln       PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    27
 29  write        PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    28
 30  read         PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    29
 32  Input12      PROGRAM     VOID      0    1    0    0     0
 33  x            VARIABLE    INTEGER   0    1    0    0    32

Block Table (btab):
Idx   Last   Lpar   Psze   Vsze
-------------------------
  0     33      0      0      1
  1      0      0      0      0

Array Table (atab):
(empty)

✓ No semantic errors found
```

Screenshot 3:

```
PS C:\Users\Acer\Downloads\FRT-Tubes-IF2224> python -m src.compiler test/milestone-3/input-12.pas
=== SEMANTIC ANALYSIS ===

=== DECORATED AST ===
ProgramNode(name: 'Input12')
  ├─ Declarations
  │    └─ VarDecl('x') → tab_index:33, type:integer, lev:0
  └─ Block → block_index:1, lev:1
       │    └─ Assign('x' := 'x'+1) → type:void
       │         ├─ target 'x' → tab_index:33, type:integer
       │         └─ BinOp '+' → type:integer
       │              ├─ 'x' → tab_index:33, type:integer
       │              └─ 1 → type:integer
       └─ writeln(...) → predefined, tab_index:27
       └─ writeln(...) → predefined, tab_index:27

=== SYMBOL TABLES ===

Identifier Table (tab):
Idx  Name        Obj         Type     Ref  Nrm  Lev  Adr  Link
------------------------------------------------------------
  0  program     PROGRAM     VOID       0    1    0    0     0
  1  variabel    TYPE        VOID       0    1    0    0     0
  2  mulai       TYPE        VOID       0    1    0    0     1
  3  selesai     TYPE        VOID       0    1    0    0     2
  4  jika        TYPE        VOID       0    1    0    0     3
  5  maka        TYPE        VOID       0    1    0    0     4
  6  selainitu   TYPE        VOID       0    1    0    0     5
  7  selama      TYPE        VOID       0    1    0    0     6
  8  lakukan     TYPE        VOID       0    1    0    0     7
  9  untuk       TYPE        VOID       0    1    0    0     8
 10  ke          TYPE        VOID       0    1    0    0     9
 11  turunke     TYPE        VOID       0    1    0    0    10
 12  larik       TYPE        ARRAY      0    1    0    0    11
 13  dari        TYPE        VOID       0    1    0    0    12
 14  prosedur    PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    13
 15  fungsi      FUNCTION    VOID       0    1    0    0    14
 16  konstanta   CONSTANT    VOID       0    1    0    0    15
 17  tipe        TYPE        VOID       0    1    0    0    16
 18  kasus       TYPE        VOID       0    1    0    0    17
 19  rekaman     TYPE        RECORD     0    1    0    0    18
 20  ulangi      TYPE        VOID       0    1    0    0    19
 21  sampai      TYPE        VOID       0    1    0    0    20
 22  integer     TYPE        INTEGER    0    1    0    0    21
 23  real        TYPE        REAL       0    1    0    0    22
 24  boolean     TYPE        BOOLEAN    0    1    0    0    23
 25  char        TYPE        CHAR       0    1    0    0    24
 26  string      TYPE        STRING     0    1    0    0    25
 27  writeln     PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    26
 28  readln      PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    27
```

```
 28  readln      PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    27
 29  write       PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    28
 30  read        PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    29
 32  Input12     PROGRAM     VOID      0    1    0    0     0
 33  x           VARIABLE    INTEGER   0    1    0    0    32

Block Table (btab):
Idx  Last  Lpar  Psze  Vsze
------------------------
  0    33     0     0     1
  1     0     0     0     0

Array Table (atab):
(empty)

✓ No semantic errors found
PS C:\Users\Acer\Downloads\FRT-Tubes-IF2224>
```

3.4 Kasus Uji 4

Input 4:

```
program ParamMismatch;

fungsi Add(a, b: integer): integer;
mulai
  Add := a + b;
selesai;

prosedur PrintNumber(num: integer);
mulai
  writeln('Number: ', num);
selesai;

variabel
  x: integer;
  y: real;
  flag: boolean;
mulai
  x := Add(5, 10);         { Valid }
  y := Add(3, 4);          { Valid (integer ke real OK) }

  { SEMANTIC ERROR: Parameter type mismatch }
  x := Add(5, 3.14);       { Error: real tidak bisa ke integer
parameter }
  PrintNumber(y);          { Error: real tidak bisa ke integer
parameter }
  PrintNumber(flag);       { Error: boolean tidak bisa ke integer
parameter }

  { SEMANTIC ERROR: Wrong number of parameters }
  x := Add(5);             { Error: kurang parameter }
  x := Add(1, 2, 3);       { Error: kelebihan parameter }
selesai.
```

Output 4:

```
=== SEMANTIC ANALYSIS ===

=== DECORATED AST ===
ProgramNode(name: 'ParamMismatch')
  ├─ Declarations
  │    ├─ FunctionDecl → tab_index:33, return_type:integer, name:Add
  │    ├─ ProcedureDecl → tab_index:36, name:PrintNumber
  │    ├─ VarDecl('x') → tab_index:38, type:integer, lev:0
  │    ├─ VarDecl('y') → tab_index:39, type:real, lev:0
  │    └─ VarDecl('flag') → tab_index:40, type:boolean, lev:0
  └─ Block → block_index:3, lev:1
       ├─ Assign('x' := FunctionCall(type=BaseType.INTEGER,
tab_idx=33)) → type:void
       │    ├─ target 'x' → tab_index:38, type:integer
       │    └─ value FunctionCall(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=33) →
type:integer
```

```
     ├─ Assign('y' := FunctionCall(type=BaseType.INTEGER,
tab_idx=33)) → type:void
     │    ├─ target 'y' → tab_index:39, type:real
     │    └─ value FunctionCall(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=33) →
type:integer
     ├─ Assign('x' := FunctionCall(type=BaseType.INTEGER,
tab_idx=33)) → type:void
     │    ├─ target 'x' → tab_index:38, type:integer
     │    └─ value FunctionCall(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=33) →
type:integer
     ├─ PrintNumber(...) → tab_index:36
     ├─ PrintNumber(...) → tab_index:36
     ├─ Assign('x' := FunctionCall(type=BaseType.INTEGER,
tab_idx=33)) → type:void
     │    ├─ target 'x' → tab_index:38, type:integer
     │    └─ value FunctionCall(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=33) →
type:integer
     └─ Assign('x' := FunctionCall(type=BaseType.INTEGER,
tab_idx=33)) → type:void
          ├─ target 'x' → tab_index:38, type:integer
          └─ value FunctionCall(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=33) →
type:integer

=== SYMBOL TABLES ===

Identifier Table (tab):
Idx  Name         Obj         Type     Ref  Nrm  Lev  Adr  Link
------------------------------------------------------------
  0  program      PROGRAM     VOID       0    1    0    0     0
  1  variabel     TYPE        VOID       0    1    0    0     0
  2  mulai        TYPE        VOID       0    1    0    0     1
  3  selesai      TYPE        VOID       0    1    0    0     2
  4  jika         TYPE        VOID       0    1    0    0     3
  5  maka         TYPE        VOID       0    1    0    0     4
  6  selainitu    TYPE        VOID       0    1    0    0     5
  7  selama       TYPE        VOID       0    1    0    0     6
  8  lakukan      TYPE        VOID       0    1    0    0     7
  9  untuk        TYPE        VOID       0    1    0    0     8
 10  ke           TYPE        VOID       0    1    0    0     9
 11  turunke      TYPE        VOID       0    1    0    0    10
 12  larik        TYPE        ARRAY      0    1    0    0    11
 13  dari         TYPE        VOID       0    1    0    0    12
 14  prosedur     PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    13
 15  fungsi       FUNCTION    VOID       0    1    0    0    14
 16  konstanta    CONSTANT    VOID       0    1    0    0    15
 17  tipe         TYPE        VOID       0    1    0    0    16
 18  kasus        TYPE        VOID       0    1    0    0    17
 19  rekaman      TYPE        RECORD     0    1    0    0    18
 20  ulangi       TYPE        VOID       0    1    0    0    19
 21  sampai       TYPE        VOID       0    1    0    0    20
 22  integer      TYPE        INTEGER    0    1    0    0    21
 23  real         TYPE        REAL       0    1    0    0    22
 24  boolean      TYPE        BOOLEAN    0    1    0    0    23
 25  char         TYPE        CHAR       0    1    0    0    24
 26  string       TYPE        STRING     0    1    0    0    25
 27  writeln      PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    26
 28  readln       PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    27
 29  write        PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    28
 30  read         PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    29
 32  ParamMismatch  PROGRAM     VOID      0    1    0    0     0
 33  Add          FUNCTION    INTEGER    0    1    0    0    32
 34  a            VARIABLE    INTEGER    0    1    1    0     0
 35  b            VARIABLE    INTEGER    0    1    1    1    34
 36  PrintNumber  PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    33
 37  num          VARIABLE    INTEGER    0    1    1    2     0
 38  x            VARIABLE    INTEGER    0    1    0    3    36
 39  y            VARIABLE    REAL       0    1    0    4    38
```

```
 40   flag         VARIABLE     BOOLEAN     0     1     0     5     39

Block Table (btab):
Idx   Last   Lpar   Psze   Vsze
-------------------------
  0     40      0      0      3
  1     35      0      0      2
  2     37      0      0      1
  3      0      0      0      0

Array Table (atab):
(empty)

✗ Found 5 semantic errors:
  - Semantic Error at line 22, column 8: Parameter type mismatch in
Add: parameter 2 (b) expects integer, got real
  - Semantic Error at line 23, column 3: Parameter type mismatch in
PrintNumber: parameter 1 (num) expects integer, got real
  - Semantic Error at line 24, column 3: Parameter type mismatch in
PrintNumber: parameter 1 (num) expects integer, got boolean
  - Semantic Error at line 27, column 8: Parameter count mismatch in
Add: expected 2, got 1
  - Semantic Error at line 28, column 8: Parameter count mismatch in
Add: expected 2, got 3
```

Screenshot 4:

```
PS C:\Users\Acer\Downloads\FRT-Tubes-IF2224> python -m src.compiler test/milestone-3/error-input-5.pas
=== SEMANTIC ANALYSIS ===

=== DECORATED AST ===
ProgramNode(name: 'ParamMismatch')
  ├─ Declarations
  │    ├─ FunctionDecl → tab_index:33, return_type:integer, name:Add
  │    ├─ ProcedureDecl → tab_index:36, name:PrintNumber
  │    ├─ VarDecl('x') → tab_index:38, type:integer, lev:0
  │    ├─ VarDecl('y') → tab_index:39, type:real, lev:0
  │    └─ VarDecl('flag') → tab_index:40, type:boolean, lev:0
  └─ Block → block_index:3, lev:1
       ├─ Assign('x' := FunctionCall(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=33)) → type:void
       │    ├─ target 'x' → tab_index:38, type:integer
       │    └─ value FunctionCall(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=33) → type:integer
       ├─ Assign('y' := FunctionCall(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=33)) → type:void
       │    ├─ target 'y' → tab_index:39, type:real
       │    └─ value FunctionCall(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=33) → type:integer
       ├─ Assign('x' := FunctionCall(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=33)) → type:void
       │    ├─ target 'x' → tab_index:38, type:integer
       │    └─ value FunctionCall(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=33) → type:integer
       ├─ PrintNumber(...) → tab_index:36
       ├─ PrintNumber(...) → tab_index:36
       ├─ Assign('x' := FunctionCall(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=33)) → type:void
       │    ├─ target 'x' → tab_index:38, type:integer
       │    └─ value FunctionCall(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=33) → type:integer
       └─ Assign('x' := FunctionCall(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=33)) → type:void
            ├─ target 'x' → tab_index:38, type:integer
            └─ value FunctionCall(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=33) → type:integer

=== SYMBOL TABLES ===

Identifier Table (tab):
Idx  Name        Obj        Type     Ref  Nrm  Lev  Adr  Link
------------------------------------------------------------
  0  program     PROGRAM    VOID       0    1    0    0     0
  1  variabel    TYPE       VOID       0    1    0    0     0
  2  mulai       TYPE       VOID       0    1    0    0     1
  3  selesai     TYPE       VOID       0    1    0    0     2
  4  jika        TYPE       VOID       0    1    0    0     3
  5  maka        TYPE       VOID       0    1    0    0     4
  6  selainitu   TYPE       VOID       0    1    0    0     5
  7  selama      TYPE       VOID       0    1    0    0     6
  8  lakukan     TYPE       VOID       0    1    0    0     7
  9  untuk       TYPE       VOID       0    1    0    0     8
 10  ke          TYPE       VOID       0    1    0    0     9
 11  turunke     TYPE       VOID       0    1    0    0    10
 12  larik       TYPE       ARRAY      0    1    0    0    11
 13  dari        TYPE       VOID       0    1    0    0    12
 14  prosedur    PROCEDURE  VOID       0    1    0    0    13
```

```
PS C:\Users\Acer\Downloads\FRT-Tubes-IF2224> python -m src.compiler test/milestone-3/error-input-5.pas
 14  prosedur    PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    13
 15  fungsi      FUNCTION    VOID      0    1    0    0    14
 16  konstanta   CONSTANT    VOID      0    1    0    0    15
 17  tipe        TYPE        VOID      0    1    0    0    16
 18  kasus       TYPE        VOID      0    1    0    0    17
 19  rekaman     TYPE        RECORD    0    1    0    0    18
 20  ulangi      TYPE        VOID      0    1    0    0    19
 21  sampai      TYPE        VOID      0    1    0    0    20
 22  integer     TYPE        INTEGER    0    1    0    0    21
 23  real        TYPE        REAL      0    1    0    0    22
 24  boolean     TYPE        BOOLEAN    0    1    0    0    23
 25  char        TYPE        CHAR      0    1    0    0    24
 26  string      TYPE        STRING    0    1    0    0    25
 27  writeln     PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    26
 28  readln      PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    27
 29  write       PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    28
 30  read        PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    29
 32  ParamMismatch  PROGRAM     VOID      0    1    0    0    0
 33  Add         FUNCTION    INTEGER    0    1    0    0    32
 34  a           VARIABLE    INTEGER    0    1    1    0    0
 35  b           VARIABLE    INTEGER    0    1    1    1    34
 36  PrintNumber  PROCEDURE   VOID      0    1    0    0    33
 37  num         VARIABLE    INTEGER    0    1    1    2    0
 38  x           VARIABLE    INTEGER    0    1    0    3    36
 39  y           VARIABLE    REAL      0    1    0    4    38
 40  flag        VARIABLE    BOOLEAN    0    1    0    5    39

Block Table (btab):
Idx  Last  Lpar  Psze  Vsze
------------------------
  0    40     0     0     3
  1    35     0     0     2
  2    37     0     0     1
  3     0     0     0     0

Array Table (atab):
(empty)

✗ Found 5 semantic errors:
  - Semantic Error at line 22, column 8: Parameter type mismatch in Add: parameter 2 (b) expects integer, got real
  - Semantic Error at line 23, column 3: Parameter type mismatch in PrintNumber: parameter 1 (num) expects integer, got real
  - Semantic Error at line 24, column 3: Parameter type mismatch in PrintNumber: parameter 1 (num) expects integer, got boolean
  - Semantic Error at line 27, column 8: Parameter count mismatch in Add: expected 2, got 1
  - Semantic Error at line 28, column 8: Parameter count mismatch in Add: expected 2, got 3
PS C:\Users\Acer\Downloads\FRT-Tubes-IF2224>
```

3.5 Kasus Uji 5

Input 5:

```
program Uninitialized;
konstanta
  MAX = 100;
  MIN = 1;
tipe
  Range = 1..10;
  ArrayInt = larik[1..10] dari integer;
variabel
  a, b, c: integer;
  arr: ArrayInt;
mulai
  b := MIN;
  c := a + b;
selesai.
```

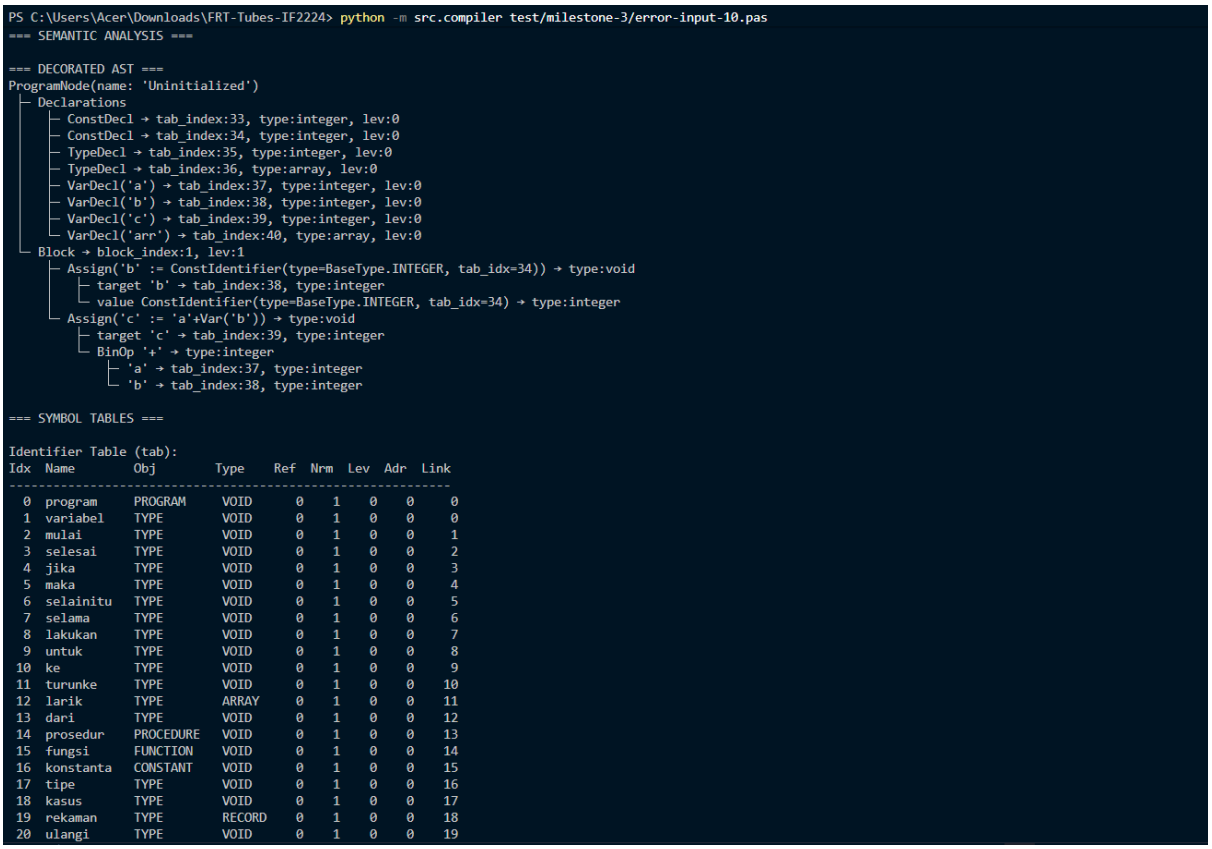
Output 5:

```
=== SEMANTIC ANALYSIS ===

=== DECORATED AST ===
ProgramNode(name: 'Uninitialized')
  ├─ Declarations
  │    ├─ ConstDecl → tab_index:33, type:integer, lev:0
  │    ├─ ConstDecl → tab_index:34, type:integer, lev:0
  │    ├─ TypeDecl → tab_index:35, type:integer, lev:0
  │    ├─ TypeDecl → tab_index:36, type:array, lev:0
  │    ├─ VarDecl('a') → tab_index:37, type:integer, lev:0
  │    ├─ VarDecl('b') → tab_index:38, type:integer, lev:0
  │    ├─ VarDecl('c') → tab_index:39, type:integer, lev:0
  │    └─ VarDecl('arr') → tab_index:40, type:array, lev:0
  └─ Block → block_index:1, lev:1
       ├─ Assign('b' := ConstIdentifier(type=BaseType.INTEGER,
tab_idx=34)) → type:void
```

```
      │   ├─ target 'b' → tab_index:38, type:integer
      │   └─ value ConstIdentifier(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=34)
→ type:integer
      └─ Assign('c' := 'a'+Var('b')) → type:void
          ├─ target 'c' → tab_index:39, type:integer
          └─ BinOp '+' → type:integer
              ├─ 'a' → tab_index:37, type:integer
              └─ 'b' → tab_index:38, type:integer

=== SYMBOL TABLES ===

Identifier Table (tab):
Idx  Name         Obj         Type     Ref  Nrm  Lev  Adr  Link
------------------------------------------------------------
  0  program      PROGRAM     VOID       0    1    0    0     0
  1  variabel     TYPE        VOID       0    1    0    0     0
  2  mulai        TYPE        VOID       0    1    0    0     1
  3  selesai      TYPE        VOID       0    1    0    0     2
  4  jika         TYPE        VOID       0    1    0    0     3
  5  maka         TYPE        VOID       0    1    0    0     4
  6  selainitu    TYPE        VOID       0    1    0    0     5
  7  selama       TYPE        VOID       0    1    0    0     6
  8  lakukan      TYPE        VOID       0    1    0    0     7
  9  untuk        TYPE        VOID       0    1    0    0     8
 10  ke           TYPE        VOID       0    1    0    0     9
 11  turunke      TYPE        VOID       0    1    0    0    10
 12  larik        TYPE        ARRAY      0    1    0    0    11
 13  dari         TYPE        VOID       0    1    0    0    12
 14  prosedur     PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    13
 15  fungsi       FUNCTION    VOID       0    1    0    0    14
 16  konstanta    CONSTANT    VOID       0    1    0    0    15
 17  tipe         TYPE        VOID       0    1    0    0    16
 18  kasus        TYPE        VOID       0    1    0    0    17
 19  rekaman      TYPE        RECORD     0    1    0    0    18
 20  ulangi       TYPE        VOID       0    1    0    0    19
 21  sampai       TYPE        VOID       0    1    0    0    20
 22  integer      TYPE        INTEGER    0    1    0    0    21
 23  real         TYPE        REAL       0    1    0    0    22
 24  boolean      TYPE        BOOLEAN    0    1    0    0    23
 25  char         TYPE        CHAR       0    1    0    0    24
 26  string       TYPE        STRING     0    1    0    0    25
 27  writeln      PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    26
 28  readln       PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    27
 29  write        PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    28
 30  read         PROCEDURE   VOID       0    1    0    0    29
 32  Uninitialized  PROGRAM     VOID       0    1    0    0     0
 33  MAX          CONSTANT    INTEGER    0    1    0    0    32
 34  MIN          CONSTANT    INTEGER    0    1    0    0    33
 35  Range        TYPE        INTEGER    0    1    0    0    34
 36  ArrayInt     TYPE        ARRAY      0    1    0    0    35
 37  a            VARIABLE    INTEGER    0    1    0    0    36
 38  b            VARIABLE    INTEGER    0    1    0    1    37
 39  c            VARIABLE    INTEGER    0    1    0    2    38
 40  arr          VARIABLE    ARRAY      0    1    0    3    39

Block Table (btab):
Idx  Last  Lpar  Psze  Vsze
-------------------------
  0    40     0     0     4
  1     0     0     0     0

Array Table (atab):
Idx  IdxType  ElemType  Eref  Low  High  ElemSize  Size
-------------------------------------------------
  0  INTEGER  INTEGER      0    1    10         1    10

✗ Found 1 semantic errors:
```

```
  - Semantic Error at line 13, column 8: Variable 'a' might be used
before initialization
```

Screenshot 5:



```
PS C:\Users\Acer\Downloads\FRT-Tubes-IF2224> python -m src.compiler test/milestone-3/error-input-10.pas
=== SEMANTIC ANALYSIS ===

=== DECORATED AST ===
ProgramNode(name: 'Uninitialized')
  ├─ Declarations
  │    ├─ ConstDecl → tab_index:33, type:integer, lev:0
  │    ├─ ConstDecl → tab_index:34, type:integer, lev:0
  │    ├─ TypeDecl → tab_index:35, type:integer, lev:0
  │    ├─ TypeDecl → tab_index:36, type:array, lev:0
  │    ├─ VarDecl('a') → tab_index:37, type:integer, lev:0
  │    ├─ VarDecl('b') → tab_index:38, type:integer, lev:0
  │    ├─ VarDecl('c') → tab_index:39, type:integer, lev:0
  │    └─ VarDecl('arr') → tab_index:40, type:array, lev:0
  └─ Block → block_index:1, lev:1
       ├─ Assign('b' := ConstIdentifier(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=34)) → type:void
       │    ├─ target 'b' → tab_index:38, type:integer
       │    └─ value ConstIdentifier(type=BaseType.INTEGER, tab_idx=34) → type:integer
       └─ Assign('c' := 'a'+Var('b')) → type:void
            ├─ target 'c' → tab_index:39, type:integer
            └─ BinOp '+' → type:integer
                 ├─ 'a' → tab_index:37, type:integer
                 └─ 'b' → tab_index:38, type:integer

=== SYMBOL TABLES ===

Identifier Table (tab):
Idx  Name        Obj        Type     Ref  Nrm  Lev  Adr  Link
-------------------------------------------------------------
  0  program     PROGRAM    VOID       0    1    0    0     0
  1  variabel    TYPE       VOID       0    1    0    0     0
  2  mulai       TYPE       VOID       0    1    0    0     1
  3  selesai     TYPE       VOID       0    1    0    0     2
  4  jika        TYPE       VOID       0    1    0    0     3
  5  maka        TYPE       VOID       0    1    0    0     4
  6  selainitu   TYPE       VOID       0    1    0    0     5
  7  selama      TYPE       VOID       0    1    0    0     6
  8  lakukan     TYPE       VOID       0    1    0    0     7
  9  untuk       TYPE       VOID       0    1    0    0     8
 10  ke          TYPE       VOID       0    1    0    0     9
 11  turunke     TYPE       VOID       0    1    0    0    10
 12  larik       TYPE       ARRAY      0    1    0    0    11
 13  dari        TYPE       VOID       0    1    0    0    12
 14  prosedur    PROCEDURE  VOID       0    1    0    0    13
 15  fungsi      FUNCTION   VOID       0    1    0    0    14
 16  konstanta   CONSTANT   VOID       0    1    0    0    15
 17  tipe        TYPE       VOID       0    1    0    0    16
 18  kasus       TYPE       VOID       0    1    0    0    17
 19  rekaman     TYPE       RECORD     0    1    0    0    18
 20  ulangi      TYPE       VOID       0    1    0    0    19
```

```
PS C:\Users\Acer\Downloads\FRT-Tubes-IF2224> python -m src.compiler test/milestone-3/error-input-10.pas
 20  ulangi      TYPE       VOID       0    1    0    0    19
 21  sampai      TYPE       VOID       0    1    0    0    20
 22  integer     TYPE       INTEGER    0    1    0    0    21
 23  real        TYPE       REAL       0    1    0    0    22
 24  boolean     TYPE       BOOLEAN    0    1    0    0    23
 25  char        TYPE       CHAR       0    1    0    0    24
 26  string      TYPE       STRING     0    1    0    0    25
 27  writeln     PROCEDURE  VOID       0    1    0    0    26
 28  readln      PROCEDURE  VOID       0    1    0    0    27
 29  write       PROCEDURE  VOID       0    1    0    0    28
 30  read        PROCEDURE  VOID       0    1    0    0    29
 32  Uninitialized  PROGRAM    VOID      0    1    0    0    0
 33  MAX         CONSTANT   INTEGER    0    1    0    0    32
 34  MIN         CONSTANT   INTEGER    0    1    0    0    33
 35  Range       TYPE       INTEGER    0    1    0    0    34
 36  ArrayInt    TYPE       ARRAY      0    1    0    0    35
 37  a           VARIABLE   INTEGER    0    1    0    0    36
 38  b           VARIABLE   INTEGER    0    1    0    1    37
 39  c           VARIABLE   INTEGER    0    1    0    2    38
 40  arr         VARIABLE   ARRAY      0    1    0    3    39

Block Table (btab):
Idx  Last  Lpar  Psze  Vsze
-------------------------
  0    40     0     0     4
  1     0     0     0     0

Array Table (atab):
Idx  IdxType  ElemType  Eref  Low  High  ElemSize  Size
-----------------------------------------------------
  0  INTEGER  INTEGER      0    1    10         1    10

✗ Found 1 semantic errors:
  - Semantic Error at line 13, column 8: Variable 'a' might be used before initialization
PS C:\Users\Acer\Downloads\FRT-Tubes-IF2224>
```

BAB 4
KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

- Semantic Analysis merupakan tahap kritis dalam proses kompilasi yang memvalidasi kebenaran makna program setelah melalui tahap lexical dan syntax analysis. Tahap ini memastikan program tidak hanya benar secara sintaks tetapi juga secara semantik.
- Pendekatan L-Attributed Grammar dengan visitor pattern terbukti efektif dalam membangun Abstract Syntax Tree (AST) dari parse tree. Setiap visit function berhasil mengeksekusi semantic actions yang sesuai dan melakukan validasi aturan semantik.
- Implementasi symbol table dengan tiga tabel terpisah (tab, btab, atab) sesuai spesifikasi Pascal-S telah berhasil mengelola informasi identifier dan scope dengan baik.
- Sistem type checking yang diimplementasikan mampu mendeteksi berbagai jenis ketidaksesuaian tipe data, termasuk type mismatch dalam assignment operations, parameter passing, dan binary expressions.

4.2 Saran

- Penambahan fitur semantic warnings untuk unused variables akan membantu programmer dalam menulis kode yang lebih bersih dan menghindari bug potensial.
- Testing yang comprehensive sangat diperlukan. Perlu ditambah test case untuk berbagai skenario edge case yang mungkin dibuat programmer.
- Dokumentasi kode yang sudah cukup baik perlu dipertahankan dan dilengkapi agar memudahkan pengembangan berkelanjutan dan kolaborasi tim.

LAMPIRAN

Link Release Repository Github:

https://github.com/JethroJNS/FRT-Tubes-IF2224.git

Pembagian Tugas:

NIM	Nama	Persentase Kontribusi
13521117	Maggie Zeta Rosida S	25%
13523037	Buege Mahara Putra	25%
13523041	Hanif Kalyana Aditya	25%
13523081	Jethro Jens Norbert Simatupang	25%

REFERENSI

“PASCAL-S: A Subset and its implementation”
http://pascal.hansotten.com/uploads/pascals/PASCAL-S%20A%20subset%20and%20its%20Implementation%20012.pdf

“Let’s Build A Simple Interpreter. Part 7: Abstract Syntax Trees”
https://ruslanspivak.com/lsbasi-part7

“Contoh Gambar Parse Trees”
https://textx.github.io/Arpeggio/latest/images/calc_parse_tree.dot.png

“Semantic Analysis (ULiège)”
https://people.montefiore.uliege.be/geurts/Cours/compil/2015/04-semantic-2015-2016.pdf

“Pascal for small machines”
http://pascal.hansotten.com/niklaus-wirth/pascal-s/

“Syntax Directed Translation in Compiler Design”
https://www.geeksforgeeks.org/compiler-design/syntax-directed-translation-in-compiler-design/