Laporan Milestone III TBFO

Semantic Analysis

ParsingIsAllYouNeed

Muhammad Raihan Nazhim Oktana
13523021
13523021@std.stei.itb.ac.id

Shanice Feodora Tjahjono
13523097
13523097@std.stei.itb.ac.id

Faqih Muhammad Syuhada
13523057
13523057@std.stei.itb.ac.id

Muhammad Fathur Rizky
13523105
13523105@std.stei.itb.ac.id

Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung

2025

Daftar Isi

BAB I: Deskripsi Tugas **2**
BAB II: Landasan Teori **3**
2.1 Analisis Sintaksis (Parsing) 3
2.2 Algoritma Recursive Descent 3
2.3 Parse Tree 3
2.4 Keterhubungan antara Parser dan Lexer 4
BAB III: Perancangan & Implementasi **5**
3.1 Perancangan 5
3.1.1 Arsitektur Sistem 5
3.1.2 Representasi Data dan Struktur AST 5
3.2 Implementasi 6
3.2.1 Penyesuaian Lexer dengan Post-processing 6
3.2.2 Base AST Class 7
3.2.2 Program 8
3.2.3 Expression 9
3.2.4 Declaration 10
3.2.5 Statement 12
3.2.6 Parser 13
3.2.7 Tree Formatter 16
BAB IV: Pengujian **19**
4.1 Pengujian Test Cases 19
BAB V: Kesimpulan dan Saran **76**
5.1 Kesimpulan 76
5.2 Saran 77
Lampiran **77**
Daftar Pustaka **77**

BAB I: Deskripsi Tugas

Pada era modern, bahasa pemrograman memegang peran fundamental dalam pengembangan perangkat lunak serta sistem komputasi. Salah satu komponen penting dalam ekosistem pemrograman adalah compiler, yaitu perangkat lunak yang menerjemahkan kode sumber (*source code*) ke dalam representasi yang dapat dipahami dan dieksekusi oleh mesin. Proses kompilasi terdiri atas beberapa tahap berurutan yang masing-masing memiliki fungsi spesifik dalam mentransformasikan program. Setelah tahap analisis leksikal (lexical analysis) berhasil dilaksanakan pada Milestone I dan tahap analisis sintaksis (syntax analysis) berhasil dilaksanakan pada Milestone II, Tugas Besar Mata Kuliah Teori Bahasa Formal dan Otomata (IF2224-24) berlanjut ke Milestone III, yaitu tahap *semantic analysis*.

Bahasa Pascal-S merupakan subset dari bahasa pemrograman Pascal yang telah disederhanakan dengan tujuan memfasilitasi pembelajaran konsep *compiler construction* secara bertahap dan terstruktur. Dalam tugas besar ini, mahasiswa bertindak sebagai pengembang Pascal-S Compiler dan diharapkan dapat mengimplementasikan komponen-komponen inti *compiler front-end*.

Pada Milestone II, mahasiswa berfokus pada pembangunan parser yang merupakan bagian penting dari tahap *syntax analysis*. Parser bertugas memeriksa rangkaian token yang dihasilkan oleh lexer, untuk memastikan bahwa token-token tersebut tersusun sesuai dengan aturan tata bahasa formal (grammar) Pascal-S. Lebih jauh, parser dibangun menggunakan pendekatan *Recursive Descent Parsing*, yaitu metode *top-down parsing* yang mengimplementasikan setiap aturan produksi grammar sebagai prosedur rekursif.

Pada Milestone III, mahasiswa perlu mengimplementasi *semantic analyzer* yang bekerja dengan menelusuri parse tree menggunakan pola desain *Visitor* dan aturan *Attributed Grammar*. Mahasiswa harus membangun dan mengelola struktur data *Symbol Table* untuk menyimpan informasi mendetail mengenai identifier, termasuk tipe data dan lingkup (scope) keberadaannya. Proses ini bertujuan untuk melakukan pemeriksaan tipe (type checking) dan pemeriksaan lingkup (scope checking) guna memastikan konsistensi program, seperti mencegah operasi matematika pada tipe data yang tidak kompatibel atau penggunaan variabel yang belum dideklarasikan. Luaran akhir dari tahap ini adalah *Decorated Abstract Syntax Tree* (AST) yang telah dianotasi dengan informasi semantik yang lengkap sebagai persiapan menuju tahap kompilasi selanjutnya.

BAB II: Landasan Teori

2.1 Konsep Dasar Compiler dan Peran Semantic Analysis

Compiler merupakan perangkat lunak yang menerjemahkan program sumber berbahasa tingkat tinggi menjadi representasi yang dapat dieksekusi oleh mesin. Secara umum, proses kompilasi terdiri atas serangkaian tahapan berurutan yang meliputi analisis leksikal, analisis sintaktis, analisis semantik, pembentukan representasi menengah, optimisasi, dan akhirnya generasi kode. Pada tahap awal, analisis sintaktis memastikan bahwa program mengikuti bentuk gramatikal bahasa pemrograman; namun kepatuhan terhadap sintaks tidak menjamin bahwa sebuah program bermakna secara benar. Di sinilah peran semantic analysis menjadi krusial.

Semantic analysis bertugas memverifikasi bahwa setiap konstruksi program sesuai dengan aturan makna bahasa—misalnya memastikan bahwa variabel telah dideklarasikan sebelum digunakan, tipe data antara operasi dan operand konsisten, dan prosedur atau fungsi dipanggil dengan jumlah serta tipe argumen yang benar. Aho, Lam, Sethi, dan Ullman dalam *Compilers: Principles, Techniques, and Tools* (2007) menyatakan bahwa semantic analysis adalah tahap yang memastikan bahwa program “makes sense” dan dapat diterjemahkan dengan aman ke tahap berikutnya dalam kompilasi.

2.2 Attributed Grammar sebagai Dasar Analisis Semantik

Attributed Grammar, yang diperkenalkan oleh Donald Knuth pada tahun 1968, merupakan perluasan dari context-free grammar dengan menambahkan atribut pada simbol-simbol grammar. Atribut ini digunakan untuk mengekspresikan makna dari suatu konstruksi sintaksis serta memungkinkan proses kompilasi menghitung informasi semantik secara sistematis. Setiap produksi dalam grammar dilengkapi dengan aturan semantik yang menentukan bagaimana atribut sesuatu node diperoleh—baik dari child node (synthesized attributes) maupun dari parent node (inherited attributes).

Dalam implementasi compiler modern, terutama untuk bahasa dengan struktur blok seperti Pascal, attributed grammar memungkinkan penghitungan informasi tipe, hubungan antar-blok, maupun informasi referensial. Attributed grammar yang bersifat L-attributed banyak digunakan karena kompatibel dengan traversal pohon secara top-down dan bottom-up menggunakan metode visitor, sehingga ideal untuk implementasi berbasis AST.

2.3 Symbol Table sebagai Penyimpan Informasi Makna

Symbol table adalah struktur data inti dalam semantic analysis yang digunakan untuk menyimpan dan mengelola informasi mengenai identifier, termasuk nama variabel, tipe data, lingkup deklarasi, parameter prosedur, dan atribut spesifik tipe seperti struktur array atau record. Dalam banyak implementasi compiler, symbol table bersifat hierarkis mengikuti struktur blok dari bahasa pemrograman—sehingga variabel dalam blok lokal akan memiliki entri yang berbeda dari variabel dalam blok global.

Organisasi symbol table dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti hash table, linked list, atau tabel berindeks; namun yang paling umum adalah struktur bertingkat (scoped symbol

table) yang memungkinkan proses lookup mengikuti hierarki lexical scoping. Wirth dalam Pascal-S Implementation Notes menekankan pentingnya pemisahan tipe komposit melalui tabel khusus seperti tabel array atau tabel record, sehingga pengelolaan tipe bersifat modular dan dapat diperluas.

2.4 Lexical Scoping dan Pengaturan Lingkup Identifier

Lexical scoping atau static scoping merupakan mekanisme penentuan lingkup variabel berdasarkan struktur blok dalam kode sumber. Pada model ini, cakupan suatu variabel ditentukan oleh lokasi deklarasinya, bukan oleh urutan eksekusi atau konteks runtime. Ketika compiler memasuki blok baru, ia menciptakan scope baru dalam symbol table, dan ketika keluar, scope tersebut ditutup atau dihapus. Proses lookup identifier dimulai dari scope paling dalam dan bergerak ke luar secara bertahap hingga deklarasi yang sesuai ditemukan.

Model ini memberikan kejelasan referensial dan prediktabilitas dalam penamaan variabel, khas bahasa-bahasa yang dirancang oleh Wirth seperti Pascal, Modula, dan Oberon. Lexical scoping juga memfasilitasi proses semantic analysis karena hubungan antar-blok dapat diwakili secara eksplisit melalui struktur tabel simbol atau daftar display.

2.5 Type System dan Mekanisme Type Checking

Type checking berfungsi memastikan bahwa operasi dalam program dilakukan pada nilai dengan tipe yang sesuai. Pada operasi aritmetika, operand harus bertipe numerik; pada operasi logika, operand harus bertipe boolean; dan assignment hanya dapat dilakukan antara operand dengan tipe yang kompatibel. Dua pendekatan utama type checking adalah static type checking yang dilakukan saat kompilasi, dan dynamic type checking yang dilakukan saat runtime. Pascal dan turunannya adalah bahasa dengan static type system sehingga semua pemeriksaan konsistensi tipe dilakukan selama kompilasi.

Aho et al. (2007) menekankan bahwa type checking merupakan prasyarat penting sebelum generasi kode dilakukan karena kesalahan tipe dapat menghasilkan perilaku tak terdefinisi pada tahap eksekusi. Dalam semantic analysis, setiap node AST dihiasi dengan informasi tipe, sehingga kesalahan seperti type mismatch, pemanggilan fungsi dengan argumen salah, atau operasi ilegal dapat terdeteksi secara sistematis.

2.6 Visitor Pattern sebagai Mekanisme Traversal AST

Visitor pattern adalah pola desain yang memungkinkan pemisahan antara struktur data dan operasi yang diterapkan pada struktur tersebut. Dalam konteks compiler, visitor digunakan untuk melakukan traversal AST dan menerapkan proses semantic analysis tanpa mengubah definisi node AST itu sendiri. Gamma et al. (1994) menyebut visitor sebagai pola yang ideal ketika struktur objek bersifat kompleks, tetap, dan memerlukan berbagai jenis operasi berbeda.

Penerapan visitor dalam semantic analysis memungkinkan compiler memproses setiap node secara sistematis: mengunjungi child node, memperbarui atau membaca symbol table, menghitung atribut semantik seperti tipe ekspresi, dan memberikan anotasi tambahan pada AST. Pendekatan ini juga memudahkan extensibility karena operasi baru dapat ditambahkan tanpa memodifikasi struktur dasar AST.

2.7 Penanganan Kesalahan Semantik (Semantic Error Handling)

Kesalahan semantik terjadi ketika program tidak melanggar sintaks tetapi melanggar aturan makna bahasa. Contoh kesalahan ini meliputi penggunaan identifier yang belum dideklarasikan, deklarasi ganda, ketidaksesuaian tipe pada operasi, pemanggilan fungsi dengan jumlah parameter yang salah, dan indexing array di luar batas. Prinsip utama dalam penanganan kesalahan semantik adalah memberikan pesan kesalahan yang informatif dan mencegah program berhenti secara tiba-tiba.

Compiler modern biasanya mengimplementasikan strategi error recovery, di mana kesalahan dilaporkan tetapi proses analisis tetap berlanjut untuk mendeteksi kesalahan lain. Pendekatan ini meningkatkan pengalaman pengguna dan mempermudah proses debugging karena pengguna dapat melihat semua masalah dalam satu kali kompilasi, bukan satu per satu.

BAB III: Perancangan & Implementasi

3.1 Perancangan

Tahap perancangan pada Milestone 3 bertujuan untuk mendefinisikan arsitektur sistem semantic analysis, struktur modul yang digunakan, serta hubungan antar komponen yang membentuk semantic pipeline pada Pascal-S Compiler. Perancangan ini dilakukan dengan mengacu pada prinsip–prinsip umum compiler construction, di mana proses analisis semantik berada setelah analisis sintaktis dan sebelum tahap code generation. Pada milestone ini, keluaran utama sistem adalah Decorated Abstract Syntax Tree (AST) dan symbol table yang menjadi representasi makna dari program Pascal-S.

Secara keseluruhan, sistem dirancang untuk menerima parse tree yang telah dihasilkan pada Milestone 2, lalu mengubahnya ke bentuk AST melalui syntax-directed translation. AST yang dihasilkan kemudian dilewati oleh semantic visitor yang melakukan verifikasi makna program, termasuk pemeriksaan tipe, validasi lingkup deklarasi, resolusi identifier, serta penambahan anotasi semantik pada setiap node. Proses ini mengacu pada standar semantic analysis dalam literatur compiler dan mengikuti model yang dijelaskan dalam spesifikasi Pascal-S mengenai penggunaan tab, btab, dan atab sebagai struktur penyimpanan simbol.

3.1.1 Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem dirancang secara modular dan terlapis (layered architecture) untuk memastikan bahwa proses kompilasi dapat ditelusuri, diuji, dimodifikasi, dan dieksekusi secara terpisah. Pada milestone ini, arsitektur keseluruhan terdiri atas beberapa komponen utama:

Parser & AST Builder

Parser dari milestone sebelumnya menghasilkan *parse tree* sesuai grammar Pascal-S. Pada tahap perancangan ini, parser dikembangkan dengan *semantic actions* yang menerjemahkan node parse tree menjadi node AST. Proses ini mengikuti aturan yang didefinisikan dalam *syntax-directed definition*, di mana setiap production rule memiliki aksi pembentukan node AST baru.

Node Representation & AST Structure
Seluruh node AST diimplementasikan sebagai kelas turunan dari ASTNode. Setiap node menyimpan atribut dasar seperti jenis node, posisi dalam kode, dan child nodes. AST menjadi representasi utama yang akan digunakan pada tahap semantic analysis.

Symbol Table System
Sistem tabel simbol mengikuti desain Pascal-S klasik yang terdiri dari tiga tabel: tab untuk seluruh identifier, btab untuk blok prosedur/fungsi, dan atab untuk tipe array. Ketiga tabel bekerja sebagai struktur hirarkis yang menggambarkan lexical scoping dan hubungan antar deklarasi. Desain modular ini memungkinkan pencarian simbol yang konsisten dengan aturan static scoping.

Semantic Visitor
Penggunaan visitor pattern merupakan inti dari tahap ini. Modul visitor menelusuri setiap node AST secara depth-first dan melakukan operasi berikut: memeriksa tipe data untuk operasi aritmetika dan boolean, memvalidasi kompatibilitas assignment, melakukan lookup identifier melalui lexical scope chain, memperbarui tabel simbol ketika memproses deklarasi baru, serta menghiasi node AST dengan tipe hasil evaluasi. Visitor didesain agar setiap fungsi visit_<NodeType> menangani aturan semantik yang spesifik untuk node tersebut.

Error Handler
Modul ini memfasilitasi pelaporan kesalahan semantik seperti identifier yang tidak dideklarasikan, tipe operan yang tidak kompatibel, pengaksesan array di luar batas, dan pemanggilan fungsi dengan parameter salah. Sistem error handling didesain agar proses kompilasi tetap dapat berlanjut tanpa menghentikan eksekusi secara paksa.

Dengan desain modular tersebut, perubahan pada satu komponen tidak memengaruhi komponen lainnya. Misalnya, penambahan dukungan tipe baru pada sistem symbol table tidak mengharuskan perubahan pada struktur AST selama antarmuka yang sama masih digunakan.

3.1.2 Representasi Data dan Struktur AST

Representasi AST dirancang berdasarkan struktur sintaks dan semantik bahasa Pascal-S. Setiap elemen bahasa direpresentasikan sebagai node yang memodelkan operasi atau deklarasi tertentu. Node-node ini diturunkan dari kelas abstrak ASTNode, sehingga mendukung abstraksi dan polimorfisme yang memudahkan ekspansi terhadap fitur bahasa.

AST disusun secara hierarkis dengan beberapa kategori utama. Pada tingkat teratas terdapat node Program dan Block, yang merepresentasikan unit program lengkap beserta konteks deklarasi dan eksekusinya. Di bawahnya terdapat Declaration Nodes yang menangani deklarasi variabel, konstanta, dan tipe. Struktur deklaratif ini penting karena berkaitan langsung dengan pembentukan entri di tabel simbol.

Untuk bagian ekspresi, Expression Nodes seperti BinaryOp, UnaryOp, Literal, dan VarReference memodelkan operasi aritmetika, boolean, serta hubungan antar operand. Node-node ini dirancang agar memiliki kemampuan menyimpan tipe hasil evaluasi, nilai literal,

serta referensi simbol. Seluruh informasi ini akan dihiasi oleh visitor pada tahap analisis semantik.

Sementara itu, Statement Nodes seperti Assignment, IfStatement, WhileStatement, dan ProcedureCall merepresentasikan alur kontrol dan aksi eksekusi program. Desain node statement dibuat konsisten dengan aturan control flow dalam Pascal-S dan memungkinkan visitor menghitung semantic correctness berdasarkan konteks program.

Dengan pembagian seperti ini, AST tidak hanya mencerminkan grammar Pascal-S tetapi juga menjadi representasi semantik lengkap yang siap digunakan untuk tahap kompilasi berikutnya. Struktur AST yang terorganisasi dengan baik memudahkan penerapan semantic rules, pembentukan tabel simbol, serta penambahan anotasi dekoratif yang diperlukan untuk menjalankan fungsi compiler secara konsisten.

3.2 Implementasi

3.2.1 Pembentukan dan Dekorasi AST untuk Analisis Semantik

Tahap implementasi pada milestone ini berfokus pada pembentukan Abstract Syntax Tree (AST) dan pemberian anotasi semantik melalui mekanisme visitor. Setelah parser menghasilkan struktur sintaks awal berdasarkan grammar Pascal-S, AST dibangun dengan menerapkan syntax-directed translation pada setiap production rule. Setiap node AST memiliki struktur kelas sendiri yang merepresentasikan komponen sintaks seperti deklarasi, ekspresi, atau pernyataan. AST ini kemudian menjadi dasar bagi semantic analysis karena memungkinkan traversal struktural yang konsisten dan hirarkis.

Implementasi AST menggunakan pola desain berbasis kelas, di mana seluruh node diturunkan dari kelas dasar ASTNode. Kelas dasar ini menyediakan antarmuka umum seperti accept(visitor) untuk mengaktifkan mekanisme visitor pattern serta to_dict() untuk kebutuhan serialisasi. Desain seperti ini membuat setiap node dapat diproses secara homogen serta memungkinkan penambahan fase analisis tambahan—misalnya code generation—tanpa memodifikasi definisi struktural AST. Pendekatan ini mencerminkan praktik standar dalam konstruksi compiler modern, di mana AST dipisahkan dari logika analisis sehingga perubahan pada salah satu lapisan tidak berdampak langsung pada lapisan lainnya.

3.2.2 Implementasi Program dan Block sebagai Struktur Sintaks Tingkat Atas

Kelas Program dan Block merupakan representasi tingkat tertinggi dalam AST. Program bertindak sebagai akar AST yang memuat identitas program serta blok utama yang berisi deklarasi dan pernyataan. Sementara itu, Block merepresentasikan lexical scope dengan memisahkan deklarasi dari compound statement, sesuai struktur bahasa Pascal yang menggunakan blok bersarang (nested block structure).

Implementasi kedua kelas ini memungkinkan compiler melakukan analisis semantik terhadap deklarasi dan referensi simbol secara terstruktur. Ketika visitor memasuki sebuah Block, lexical level meningkat dan symbol table diperbarui untuk mencerminkan konteks baru. Setelah keluar dari block, lexical level dipulihkan sehingga aturan static scoping dapat diterapkan secara

deterministik. Struktur ini juga memungkinkan semantic analyzer mengidentifikasi kesalahan seperti redeclaration, penggunaan identifier di luar lingkup, atau shadowing yang tidak valid.

```
@dataclass
class Program(ASTNode):
    name: str
    block: ASTNode

    def accept(self, visitor: Any) -> Any:
        return visitor.visit_program(self)

    def to_dict(self) -> dict:
        return {
            'type': 'Program',
            'name': self.name,
            'block': self.block.to_dict()
        }


@dataclass
class Block(ASTNode):
    declarations: list[ASTNode]
    compound_statement: CompoundStatement

    def accept(self, visitor: Any) -> Any:
        return visitor.visit_block(self)

    def to_dict(self) -> dict:
        return {
            'type': 'Block',
            'declarations': [decl.to_dict() for decl in self.declarations],
            'compound_statement': self.compound_statement.to_dict()
        }
```

Struktur ini memperlihatkan pemisahan jelas antara deklarasi dan instruksi, sehingga mekanisme analisis simbol dapat dilakukan secara konsisten mengikuti prinsip lexical scoping yang menjadi dasar semantik Pascal.

3.2.3 Expression

Salah satu komponen kunci dalam analisis semantik adalah symbol table, karena struktur ini menyimpan seluruh informasi mengenai identifier yang digunakan dalam program, seperti variabel, konstanta, prosedur, fungsi, maupun tipe. Pada implementasi ini, desain symbol table mengikuti pendekatan Pascal-S klasik dengan memisahkan entri berdasarkan fungsinya ke dalam tiga tabel berbeda, yaitu tabel identifier (tab), tabel array (atab), dan tabel blok (btab). Pemisahan ini mempermudah pengelolaan tipe komposit dan blok bersarang, serta memungkinkan semantic analyzer melakukan operasi lookup, penyisipan entri baru, dan pelacakan lexical scope secara sistematis. Pada tingkat abstraksi paling dasar, jenis objek yang dapat disimpan dalam tabel dikodekan dalam sebuah enumerasi ObjectKind, sementara setiap entri simbol direpresentasikan oleh kelas SymbolEntry yang menyimpan nama, jenis objek, tipe, serta informasi level dan alamat.

Cuplikan berikut menggambarkan struktur dasar implementasi symbol table beserta entri-entri terkait:

```python
# symbol_table.py
from enum import Enum, auto
from typing import Optional
from .types import Type


class ObjectKind(Enum):
    CONSTANT = auto()
    VARIABLE = auto()
    TYPE = auto()
    PROCEDURE = auto()
    FUNCTION = auto()
    PROGRAM = auto()


class SymbolEntry:
    def __init__(
        self,
        name: str,
        obj_kind: ObjectKind,
        type: Type,
        level: int,
        address: int,
        link: Optional[int] = None,
        ref: Optional[int] = None,
    ) -> None:
        self.name = name
        self.obj_kind = obj_kind
        self.type = type
        self.level = level
        self.address = address
        self.link = link          # menghubungkan deklarasi dalam satu blok
        self.ref = ref            # referensi ke atab atau btab untuk tipe
komposit

    def __repr__(self) -> str:
        return f"<SymbolEntry {self.name} ({self.obj_kind.name})
lvl={self.level}>"


class ArrayEntry:
    def __init__(
        self,
        index_type: Type,
        low_bound: int,
        high_bound: int,
        element_type: Type,
    ) -> None:
        self.index_type = index_type
        self.low_bound = low_bound
        self.high_bound = high_bound
        self.element_type = element_type
```

```
    @property
    def size(self) -> int:
        return self.high_bound - self.low_bound + 1


class BlockEntry:
    def __init__(
        self,
        last: Optional[int] = None,
        lpar: Optional[int] = None,
        param_size: int = 0,
        var_size: int = 0,
    ) -> None:
        self.last = last          # indeks identifier terakhir dalam blok ini
        self.lpar = lpar          # pointer ke parameter terakhir
        self.param_size = param_size
        self.var_size = var_size


class SymbolTable:
    def __init__(self) -> None:
        self.tab: list[SymbolEntry] = []
        self.atab: list[ArrayEntry] = []
        self.btab: list[BlockEntry] = []
        self.display: list[int] = []   # display[level] = indeks block active
        self.level: int = -1

    def enter_scope(self) -> None:
        block = BlockEntry()
        self.btab.append(block)
        self.level += 1
        self.display.append(len(self.btab) - 1)

    def leave_scope(self) -> None:
        self.display.pop()
        self.level -= 1

    def insert(
        self,
        name: str,
        obj_kind: ObjectKind,
        type: Type,
        address: int = 0,
        ref: Optional[int] = None,
    ) -> int:
        current_block_index = self.display[self.level]
        current_block = self.btab[current_block_index]
        link = current_block.last

        entry = SymbolEntry(
            name=name,
            obj_kind=obj_kind,
            type=type,
            level=self.level,
            address=address,
```

```
            link=link,
            ref=ref,
        )
        self.tab.append(entry)
        index = len(self.tab) - 1
        current_block.last = index
        return index

    def lookup(self, name: str) -> Optional[SymbolEntry]:
        for lvl in reversed(range(self.level + 1)):
            block_index = self.display[lvl]
            entry_index = self.btab[block_index].last
            while entry_index is not None:
                entry = self.tab[entry_index]
                if entry.name == name:
                    return entry
                entry_index = entry.link
        return None

    def lookup_current_scope(self, name: str) -> Optional[SymbolEntry]:
        block_index = self.display[self.level]
        entry_index = self.btab[block_index].last
        while entry_index is not None:
            entry = self.tab[entry_index]
            if entry.name == name:
                return entry
            entry_index = entry.link
        return None

    def add_array_entry(
        self,
        index_type: Type,
        low_bound: int,
        high_bound: int,
        element_type: Type,
    ) -> int:
        arr = ArrayEntry(index_type, low_bound, high_bound, element_type)
        self.atab.append(arr)
        return len(self.atab) - 1
```

Secara konseptual, cuplikan di atas memperlihatkan bagaimana ruang simbol dibagi dalam beberapa tabel yang saling terkait. Metode enter_scope dan leave_scope mengatur pergantian konteks blok sehingga lexical level dapat dilacak secara eksplisit, sementara metode insert dan lookup bertanggung jawab menambah dan mencari identifier. Pendekatan ini mendukung static scoping karena setiap pencarian dilakukan dari level terdalam ke luar, mengikuti struktur blok bersarang yang menjadi karakteristik bahasa Pascal.

3.2.4 Implementasi Sistem Tipe pada Modul Types

Untuk mendukung pemeriksaan tipe yang konsisten di seluruh tahap analisis semantik, diperlukan representasi tipe yang eksplisit melalui modul types.py. Modul ini mendefinisikan tipe-tipe primitif seperti integer, real, boolean, char, dan string, serta menyediakan abstraksi untuk tipe komposit seperti array atau record. Dengan pendekatan ini, setiap node AST dapat

menyimpan referensi ke objek Type sehingga semantic analyzer dapat membedakan antara operasi aritmetika, logika, dan operasi lain yang bergantung pada tipe operand.

Berikut merupakan cuplikan kode yang menggambarkan struktur dasar sistem tipe:

```python
# types.py
from enum import Enum, auto
from dataclasses import dataclass
from typing import Optional


class SimpleTypeKind(Enum):
    INTEGER = auto()
    REAL = auto()
    BOOLEAN = auto()
    CHAR = auto()
    STRING = auto()
    VOID = auto()


@dataclass
class ArrayTypeInfo:
    index_type: "Type"
    low_bound: int
    high_bound: int
    element_type: "Type"


@dataclass
class RecordTypeInfo:
    # Sederhana: representasi record bisa berupa mapping field->Type
    fields: dict[str, "Type"]


@dataclass
class Type:
    kind: SimpleTypeKind
    array_info: Optional[ArrayTypeInfo] = None
    record_info: Optional[RecordTypeInfo] = None

    def is_integer(self) -> bool:
        return self.kind == SimpleTypeKind.INTEGER

    def is_real(self) -> bool:
        return self.kind == SimpleTypeKind.REAL

    def is_boolean(self) -> bool:
        return self.kind == SimpleTypeKind.BOOLEAN

    def is_char(self) -> bool:
        return self.kind == SimpleTypeKind.CHAR

    def is_string(self) -> bool:
        return self.kind == SimpleTypeKind.STRING
```

```
    def is_array(self) -> bool:
        return self.array_info is not None

    def is_record(self) -> bool:
        return self.record_info is not None

    def __repr__(self) -> str:
        if self.is_array():
            return
f"array[{self.array_info.low_bound}..{self.array_info.high_bound}] of
{self.array_info.element_type}"
        if self.is_record():
            return "record"
        return self.kind.name.lower()


INTEGER_TYPE = Type(SimpleTypeKind.INTEGER)
REAL_TYPE = Type(SimpleTypeKind.REAL)
BOOLEAN_TYPE = Type(SimpleTypeKind.BOOLEAN)
CHAR_TYPE = Type(SimpleTypeKind.CHAR)
STRING_TYPE = Type(SimpleTypeKind.STRING)
VOID_TYPE = Type(SimpleTypeKind.VOID)
```

Secara ilmiah, desain tipe seperti di atas mendukung static type checking karena operasi pada AST dapat memanfaatkan metode seperti is_integer() atau is_boolean() untuk memastikan bahwa operator dan operand kompatibel. Ketika semantic visitor memproses ekspresi biner, ia dapat membandingkan tipe kedua operand dan menentukan tipe hasil, atau sebaliknya melaporkan kesalahan jika ditemukan kombinasi tipe yang tidak sah. Dukungan tipe komposit seperti ArrayTypeInfo dan RecordTypeInfo juga membuka peluang perluasan bahasa di masa depan tanpa harus merombak keseluruhan sistem.

3.2.5 Implementasi Visitor sebagai Mesin Analisis Semantik

Implementasi visitor pada file visitor.py bertindak sebagai mesin utama yang menjalankan analisis semantik di atas struktur AST. Kelas SemanticVisitor menyimpan sebuah instance SymbolTable dan peta tipe dasar yang memetakan nama tipe pada representasi Type. Setiap metode visit_<NodeType> didefinisikan untuk menangani aturan semantik spesifik bagi node tersebut, misalnya memproses deklarasi variabel, mengevaluasi tipe ekspresi biner, atau memvalidasi pemanggilan prosedur.

Cuplikan berikut memberikan ilustrasi struktur inti SemanticVisitor serta cara ia berinteraksi dengan AST dan symbol table:

```
# visitor.py
from typing import Any
from parse_tree import (
    Program, Block, VarDeclaration, SimpleType,
    AssignmentStatement, BinaryOp, Variable, Number,
)
from .symbol_table import SymbolTable, ObjectKind
from .types import (
    Type, SimpleTypeKind,
```

```
    INTEGER_TYPE, REAL_TYPE, BOOLEAN_TYPE, CHAR_TYPE, STRING_TYPE, VOID_TYPE,
)


class SemanticVisitor:
    def __init__(self) -> None:
        self.symbol_table = SymbolTable()
        self.type_map: dict[str, Type] = {
            "integer": INTEGER_TYPE,
            "real": REAL_TYPE,
            "boolean": BOOLEAN_TYPE,
            "char": CHAR_TYPE,
            "string": STRING_TYPE,
        }

    def visit(self, node: Any) -> Any:
        method_name = f"visit_{type(node).__name__.lower()}"
        method = getattr(self, method_name, self.generic_visit)
        return method(node)

    def generic_visit(self, node: Any) -> Any:
        raise NotImplementedError(f"No visit_{type(node).__name__.lower()}
method")

    def visit_program(self, node: Program) -> Any:
        self.symbol_table.enter_scope()
        self.symbol_table.insert(
            name=node.name,
            obj_kind=ObjectKind.PROGRAM,
            type=VOID_TYPE,
        )
        self.visit(node.block)
        self.symbol_table.leave_scope()
        return node

    def visit_block(self, node: Block) -> Any:
        self.symbol_table.enter_scope()
        for decl in node.declarations:
            self.visit(decl)
        self.visit(node.compound_statement)
        self.symbol_table.leave_scope()
        return node

    def visit_vardeclaration(self, node: VarDeclaration) -> Any:
        type_spec = self.visit(node.type_spec)

        for identifier in node.identifiers:
            if self.symbol_table.lookup_current_scope(identifier) is not
None:
                # contoh sederhana: raise error redeclaration
                raise Exception(f"Redeclaration of identifier
'{identifier}'")
            self.symbol_table.insert(
                name=identifier,
                obj_kind=ObjectKind.VARIABLE,
                type=type_spec,
```

```
            )
        return None

    def visit_simpletype(self, node: SimpleType) -> Type:
        type_name = node.name.lower()
        if type_name not in self.type_map:
            raise Exception(f"Unknown type '{type_name}'")
        return self.type_map[type_name]

    def visit_assignmentstatement(self, node: AssignmentStatement) -> Any:
        var_type = self.visit(node.variable)
        expr_type = self.visit(node.expression)

        if var_type != expr_type:
            raise Exception(
                f"Type mismatch in assignment: {var_type} := {expr_type}"
            )
        return None

    def visit_variable(self, node: Variable) -> Type:
        entry = self.symbol_table.lookup(node.name)
        if entry is None:
            raise Exception(f"Undeclared identifier '{node.name}'")
        return entry.type

    def visit_number(self, node: Number) -> Type:
        # contoh sederhana: seluruh NUMBER dianggap integer
        return INTEGER_TYPE

    def visit_binaryop(self, node: BinaryOp) -> Type:
        left_type = self.visit(node.left)
        right_type = self.visit(node.right)

        if left_type != right_type or not left_type.is_integer():
            raise Exception("Invalid operands for binary operator")
        return left_type
```

Melalui cuplikan tersebut tampak bahwa setiap kunjungan node menghasilkan efek semantik yang spesifik. Metode visit_program dan visit_block mengelola scope dengan memanggil enter_scope dan leave_scope pada symbol table, sedangkan visit_vardeclaration menyisipkan entri baru ke dalam tabel simbol dan mencegah deklarasi ganda pada scope yang sama. Di sisi lain, metode visit_assignmentstatement, visit_variable, dan visit_binaryop menunjukkan pola pemeriksaan tipe yang konsisten, di mana setiap ekspresi dan operand dikunjungi terlebih dahulu untuk menentukan tipenya sebelum kemudian dilakukan validasi.

BAB IV: Pengujian

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem yang dibangun—khususnya komponen Lexer dan Abstract Syntax Tree (AST)—telah berfungsi sesuai dengan spesifikasi bahasa Pascal-S yang telah dimodifikasi ke dalam versi berbahasa Indonesia. Secara konseptual, tahap pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi keakuratan proses analisis leksikal dalam mengenali dan mengklasifikasikan token, serta memastikan struktur AST yang dihasilkan merepresentasikan hubungan sintaktis dan semantik program secara benar. Selain itu,

pengujian ini juga dimaksudkan untuk menilai ketahanan sistem terhadap kesalahan sintaks, kemampuan penanganan kata kunci majemuk (hyphenated keywords).

4.1 Pengujian Test Cases

Tabel I. SimpleTypesTest

Input

```
program SimpleTypes;
variabel
    x, y: integer;
    a, b: real;
    flag: boolean;
    ch: char;
mulai
    x := 10;
    y := 20;
    a := 3.14;
    b := 2.71;
    flag := true;
    ch := 'A'
selesai.
```

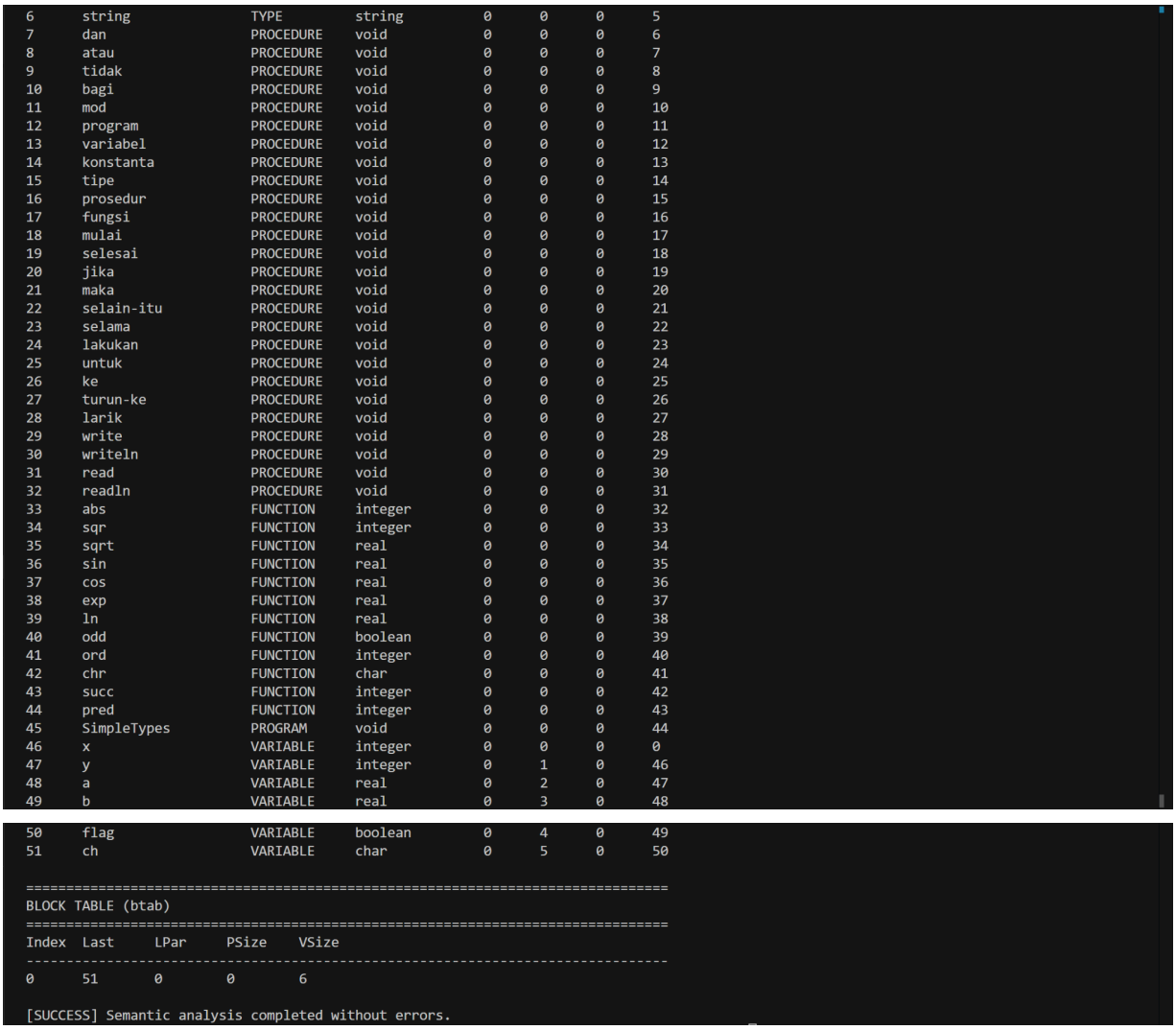
Output

```
Decorated AST:
========================================
ProgramNode(name: 'SimpleTypes')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ VarDecl('x','y') → tab_index:47, type:integer, lev:0
   │  ├─ VarDecl('a','b') → tab_index:49, type:real, lev:0
   │  ├─ VarDecl('flag') → tab_index:50, type:boolean, lev:0
   │  └─ VarDecl('ch') → tab_index:51, type:char, lev:0
   └─ CompoundStmt
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(10) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('y') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(20) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('a') → tab_index:48, type:real, lev:0
      │  └─ Number(3.14) → type:real
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('b') → tab_index:49, type:real, lev:0
      │  └─ Number(2.71) → type:real
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('flag') → tab_index:50, type:boolean, lev:0
      │  └─ Boolean(True) → type:boolean
      └─ Assign → type:void, lev:0
         ├─ Variable('ch') → tab_index:51, type:char, lev:0
         └─ Char(''A'') → type:char
========================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
```

```
--------------------------------------------------------------------------------
0       salah                   CONSTANT     boolean          0       0       0       0
1       benar                   CONSTANT     boolean          0       0       0       0
2       integer                 TYPE         integer          0       0       0       1
3       real                    TYPE         real             0       0       0       2
4       boolean                 TYPE         boolean          0       0       0       3
5       char                    TYPE         char             0       0       0       4
6       string                  TYPE         string           0       0       0       5
7       dan                     PROCEDURE    void             0       0       0       6
8       atau                    PROCEDURE    void             0       0       0       7
9       tidak                   PROCEDURE    void             0       0       0       8
10      bagi                    PROCEDURE    void             0       0       0       9
11      mod                     PROCEDURE    void             0       0       0       10
12      program                 PROCEDURE    void             0       0       0       11
13      variabel                PROCEDURE    void             0       0       0       12
14      konstanta               PROCEDURE    void             0       0       0       13
15      tipe                    PROCEDURE    void             0       0       0       14
16      prosedur                PROCEDURE    void             0       0       0       15
17      fungsi                  PROCEDURE    void             0       0       0       16
18      mulai                   PROCEDURE    void             0       0       0       17
19      selesai                 PROCEDURE    void             0       0       0       18
20      jika                    PROCEDURE    void             0       0       0       19
21      maka                    PROCEDURE    void             0       0       0       20
22      selain-itu              PROCEDURE    void             0       0       0       21
23      selama                  PROCEDURE    void             0       0       0       22
24      lakukan                 PROCEDURE    void             0       0       0       23
25      untuk                   PROCEDURE    void             0       0       0       24
26      ke                      PROCEDURE    void             0       0       0       25
27      turun-ke                PROCEDURE    void             0       0       0       26
28      larik                   PROCEDURE    void             0       0       0       27
29      write                   PROCEDURE    void             0       0       0       28
30      writeln                 PROCEDURE    void             0       0       0       29
31      read                    PROCEDURE    void             0       0       0       30
32      readln                  PROCEDURE    void             0       0       0       31
33      abs                     FUNCTION     integer          0       0       0       32
34      sqr                     FUNCTION     integer          0       0       0       33
35      sqrt                    FUNCTION     real             0       0       0       34
36      sin                     FUNCTION     real             0       0       0       35
37      cos                     FUNCTION     real             0       0       0       36
38      exp                     FUNCTION     real             0       0       0       37
39      ln                      FUNCTION     real             0       0       0       38
40      odd                     FUNCTION     boolean          0       0       0       39
41      ord                     FUNCTION     integer          0       0       0       40
42      chr                     FUNCTION     char             0       0       0       41
43      succ                    FUNCTION     integer          0       0       0       42
44      pred                    FUNCTION     integer          0       0       0       43
45      SimpleTypes             PROGRAM      void             0       0       0       44
46      x                       VARIABLE     integer          0       0       0       0
47      y                       VARIABLE     integer          0       1       0       46
48      a                       VARIABLE     real             0       2       0       47
49      b                       VARIABLE     real             0       3       0       48
50      flag                    VARIABLE     boolean          0       4       0       49
51      ch                      VARIABLE     char             0       5       0       50

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index   Last      LPar      PSize     VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0       51        0         0         6

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Bukti dan Keterangan

```
PS D:\Muhammad Raihan Nazhim Oktana\Kuliah STEI-K (IF-G) ITB\Tubes TBFO\PIA-Tubes-IF2224> uv run src/semantic_main.py test/milestone-3/input/test1.pas --decorated

Decorated AST:
======================================
ProgramNode(name: 'SimpleTypes')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ VarDecl('x','y') → tab_index:47, type:integer, lev:0
   │  ├─ VarDecl('a','b') → tab_index:49, type:real, lev:0
   │  ├─ VarDecl('flag') → tab_index:50, type:boolean, lev:0
   │  └─ VarDecl('ch') → tab_index:51, type:char, lev:0
   └─ CompoundStmt
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(10) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('y') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(20) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('a') → tab_index:48, type:real, lev:0
      │  └─ Number(3.14) → type:real
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('b') → tab_index:49, type:real, lev:0
      │  └─ Number(2.71) → type:real
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('flag') → tab_index:50, type:boolean, lev:0
      │  └─ Boolean(True) → type:boolean
      └─ Assign → type:void, lev:0
         ├─ Variable('ch') → tab_index:51, type:char, lev:0
         └─ Char(''A'') → type:char
======================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer              TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                 TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean              TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                 TYPE         char            0      0      0      4
```



```
6     string              TYPE        string      0     0     0     5
7     dan                 PROCEDURE   void        0     0     0     6
8     atau                PROCEDURE   void        0     0     0     7
9     tidak               PROCEDURE   void        0     0     0     8
10    bagi                PROCEDURE   void        0     0     0     9
11    mod                 PROCEDURE   void        0     0     0     10
12    program             PROCEDURE   void        0     0     0     11
13    variabel            PROCEDURE   void        0     0     0     12
14    konstanta           PROCEDURE   void        0     0     0     13
15    tipe                PROCEDURE   void        0     0     0     14
16    prosedur            PROCEDURE   void        0     0     0     15
17    fungsi              PROCEDURE   void        0     0     0     16
18    mulai               PROCEDURE   void        0     0     0     17
19    selesai             PROCEDURE   void        0     0     0     18
20    jika                PROCEDURE   void        0     0     0     19
21    maka                PROCEDURE   void        0     0     0     20
22    selain-itu          PROCEDURE   void        0     0     0     21
23    selama              PROCEDURE   void        0     0     0     22
24    lakukan             PROCEDURE   void        0     0     0     23
25    untuk               PROCEDURE   void        0     0     0     24
26    ke                  PROCEDURE   void        0     0     0     25
27    turun-ke            PROCEDURE   void        0     0     0     26
28    larik               PROCEDURE   void        0     0     0     27
29    write               PROCEDURE   void        0     0     0     28
30    writeln             PROCEDURE   void        0     0     0     29
31    read                PROCEDURE   void        0     0     0     30
32    readln              PROCEDURE   void        0     0     0     31
33    abs                 FUNCTION    integer     0     0     0     32
34    sqr                 FUNCTION    integer     0     0     0     33
35    sqrt                FUNCTION    real        0     0     0     34
36    sin                 FUNCTION    real        0     0     0     35
37    cos                 FUNCTION    real        0     0     0     36
38    exp                 FUNCTION    real        0     0     0     37
39    ln                  FUNCTION    real        0     0     0     38
40    odd                 FUNCTION    boolean     0     0     0     39
41    ord                 FUNCTION    integer     0     0     0     40
42    chr                 FUNCTION    char        0     0     0     41
43    succ                FUNCTION    integer     0     0     0     42
44    pred                FUNCTION    integer     0     0     0     43
45    SimpleTypes         PROGRAM     void        0     0     0     44
46    x                   VARIABLE    integer     0     0     0     0
47    y                   VARIABLE    integer     0     1     0     46
48    a                   VARIABLE    real        0     2     0     47
49    b                   VARIABLE    real        0     3     0     48
50    flag                VARIABLE    boolean     0     4     0     49
51    ch                  VARIABLE    char        0     5     0     50

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index  Last     LPar     PSize    VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0      51       0        0        6

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Sukses menguji kemampuan semantic analyzer dalam menangani simple type pada assignment ke variabel, hasil uji sudah benar.

Tabel II. TypeCheckingTest

Input

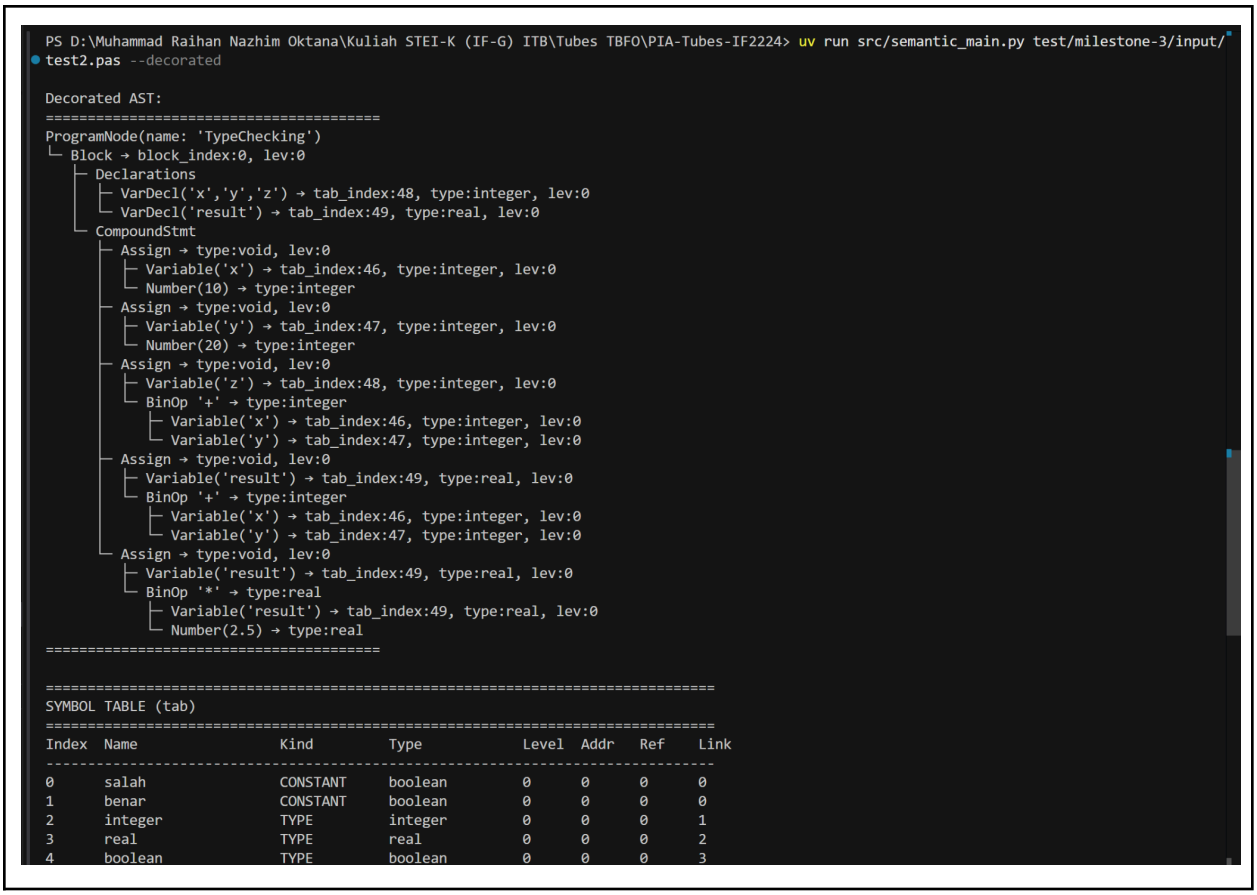
`program TypeChecking;`
`variabel`
`    x, y, z: integer;`
`    result: real;`
`mulai`
`    x := 10;`
`    y := 20;`
`    z := x + y;`
`    result := x + y;`
`    result := result * 2.5`
`selesai.`

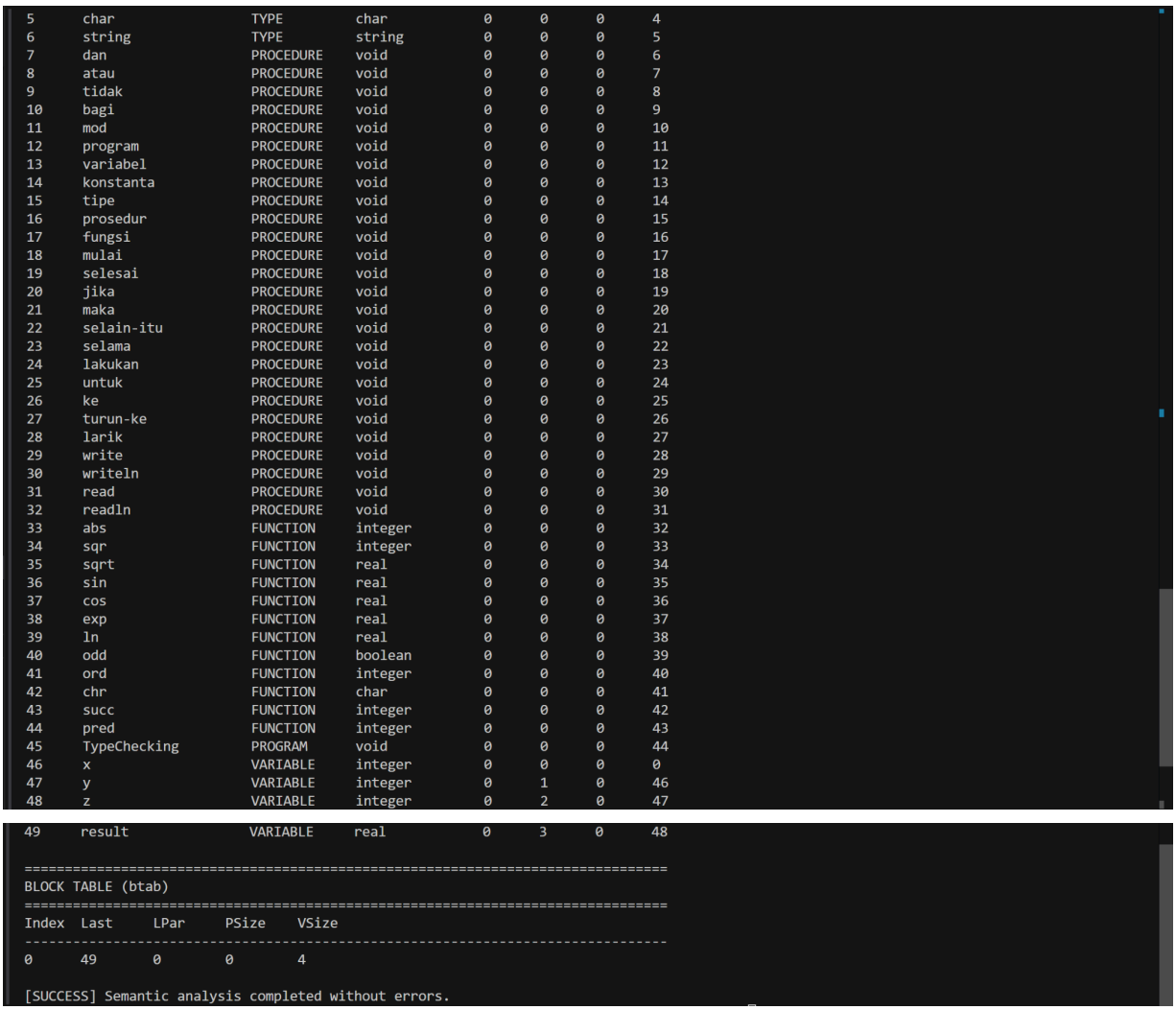
Output

```
Decorated AST:
======================================
ProgramNode(name: 'TypeChecking')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ VarDecl('x','y','z') → tab_index:48, type:integer, lev:0
   │  └─ VarDecl('result') → tab_index:49, type:real, lev:0
   └─ CompoundStmt
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(10) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('y') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(20) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('z') → tab_index:48, type:integer, lev:0
      │  └─ BinOp '+' → type:integer
      │     ├─ Variable('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │     └─ Variable('y') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('result') → tab_index:49, type:real, lev:0
      │  └─ BinOp '+' → type:integer
      │     ├─ Variable('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │     └─ Variable('y') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      └─ Assign → type:void, lev:0
         ├─ Variable('result') → tab_index:49, type:real, lev:0
         └─ BinOp '*' → type:real
            ├─ Variable('result') → tab_index:49, type:real, lev:0
            └─ Number(2.5) → type:real
======================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer              TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                 TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean              TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                 TYPE         char            0      0      0      4
6      string               TYPE         string          0      0      0      5
7      dan                  PROCEDURE    void            0      0      0      6
8      atau                 PROCEDURE    void            0      0      0      7
9      tidak                PROCEDURE    void            0      0      0      8
10     bagi                 PROCEDURE    void            0      0      0      9
11     mod                  PROCEDURE    void            0      0      0      10
12     program              PROCEDURE    void            0      0      0      11
13     variabel             PROCEDURE    void            0      0      0      12
14     konstanta            PROCEDURE    void            0      0      0      13
15     tipe                 PROCEDURE    void            0      0      0      14
16     prosedur             PROCEDURE    void            0      0      0      15
17     fungsi               PROCEDURE    void            0      0      0      16
18     mulai                PROCEDURE    void            0      0      0      17
19     selesai              PROCEDURE    void            0      0      0      18
20     jika                 PROCEDURE    void            0      0      0      19
21     maka                 PROCEDURE    void            0      0      0      20
22     selain-itu           PROCEDURE    void            0      0      0      21
23     selama               PROCEDURE    void            0      0      0      22
```

```
24      lakukan                 PROCEDURE     void            0       0       0       23
25      untuk                   PROCEDURE     void            0       0       0       24
26      ke                      PROCEDURE     void            0       0       0       25
27      turun-ke                PROCEDURE     void            0       0       0       26
28      larik                   PROCEDURE     void            0       0       0       27
29      write                   PROCEDURE     void            0       0       0       28
30      writeln                 PROCEDURE     void            0       0       0       29
31      read                    PROCEDURE     void            0       0       0       30
32      readln                  PROCEDURE     void            0       0       0       31
33      abs                     FUNCTION      integer         0       0       0       32
34      sqr                     FUNCTION      integer         0       0       0       33
35      sqrt                    FUNCTION      real            0       0       0       34
36      sin                     FUNCTION      real            0       0       0       35
37      cos                     FUNCTION      real            0       0       0       36
38      exp                     FUNCTION      real            0       0       0       37
39      ln                      FUNCTION      real            0       0       0       38
40      odd                     FUNCTION      boolean         0       0       0       39
41      ord                     FUNCTION      integer         0       0       0       40
42      chr                     FUNCTION      char            0       0       0       41
43      succ                    FUNCTION      integer         0       0       0       42
44      pred                    FUNCTION      integer         0       0       0       43
45      TypeChecking            PROGRAM       void            0       0       0       44
46      x                       VARIABLE      integer         0       0       0       0
47      y                       VARIABLE      integer         0       1       0       46
48      z                       VARIABLE      integer         0       2       0       47
49      result                  VARIABLE      real            0       3       0       48

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index   Last      LPar      PSize     VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0       49        0         0         4

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Bukti dan Keterangan


PS D:\Muhammad Raihan Nazhim Oktana\Kuliah STEI-K (IF-G) ITB\Tubes TBFO\PIA-Tubes-IF2224> uv run src/semantic_main.py test/milestone-3/input/
test2.pas --decorated
Decorated AST:
ProgramNode(name: 'TypeChecking')
└─ Block → block_index:0, lev:0
├─ Declarations
│ ├─ VarDecl('x','y','z') → tab_index:48, type:integer, lev:0
│ └─ VarDecl('result') → tab_index:49, type:real, lev:0
└─ CompoundStmt
├─ Assign → type:void, lev:0
│ ├─ Variable('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
│ └─ Number(10) → type:integer
├─ Assign → type:void, lev:0
│ ├─ Variable('y') → tab_index:47, type:integer, lev:0
│ └─ Number(20) → type:integer
├─ Assign → type:void, lev:0
│ ├─ Variable('z') → tab_index:48, type:integer, lev:0
│ └─ BinOp '+' → type:integer
│ ├─ Variable('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
│ └─ Variable('y') → tab_index:47, type:integer, lev:0
├─ Assign → type:void, lev:0
│ ├─ Variable('result') → tab_index:49, type:real, lev:0
│ └─ BinOp '+' → type:integer
│ ├─ Variable('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
│ └─ Variable('y') → tab_index:47, type:integer, lev:0
└─ Assign → type:void, lev:0
├─ Variable('result') → tab_index:49, type:real, lev:0
└─ BinOp '*' → type:real
├─ Variable('result') → tab_index:49, type:real, lev:0
└─ Number(2.5) → type:real
SYMBOL TABLE (tab)
Index Name Kind Type Level Addr Ref Link
0 salah CONSTANT boolean 0 0 0 0
1 benar CONSTANT boolean 0 0 0 0
2 integer TYPE integer 0 0 0 1
3 real TYPE real 0 0 0 2
4 boolean TYPE boolean 0 0 0 3



```
5     char              TYPE        char          0     0     0     4
6     string            TYPE        string        0     0     0     5
7     dan               PROCEDURE   void          0     0     0     6
8     atau              PROCEDURE   void          0     0     0     7
9     tidak             PROCEDURE   void          0     0     0     8
10    bagi              PROCEDURE   void          0     0     0     9
11    mod               PROCEDURE   void          0     0     0     10
12    program           PROCEDURE   void          0     0     0     11
13    variabel          PROCEDURE   void          0     0     0     12
14    konstanta         PROCEDURE   void          0     0     0     13
15    tipe              PROCEDURE   void          0     0     0     14
16    prosedur          PROCEDURE   void          0     0     0     15
17    fungsi            PROCEDURE   void          0     0     0     16
18    mulai             PROCEDURE   void          0     0     0     17
19    selesai           PROCEDURE   void          0     0     0     18
20    jika              PROCEDURE   void          0     0     0     19
21    maka              PROCEDURE   void          0     0     0     20
22    selain-itu        PROCEDURE   void          0     0     0     21
23    selama            PROCEDURE   void          0     0     0     22
24    lakukan           PROCEDURE   void          0     0     0     23
25    untuk             PROCEDURE   void          0     0     0     24
26    ke                PROCEDURE   void          0     0     0     25
27    turun-ke          PROCEDURE   void          0     0     0     26
28    larik             PROCEDURE   void          0     0     0     27
29    write             PROCEDURE   void          0     0     0     28
30    writeln           PROCEDURE   void          0     0     0     29
31    read              PROCEDURE   void          0     0     0     30
32    readln            PROCEDURE   void          0     0     0     31
33    abs               FUNCTION    integer       0     0     0     32
34    sqr               FUNCTION    integer       0     0     0     33
35    sqrt              FUNCTION    real          0     0     0     34
36    sin               FUNCTION    real          0     0     0     35
37    cos               FUNCTION    real          0     0     0     36
38    exp               FUNCTION    real          0     0     0     37
39    ln                FUNCTION    real          0     0     0     38
40    odd               FUNCTION    boolean       0     0     0     39
41    ord               FUNCTION    integer       0     0     0     40
42    chr               FUNCTION    char          0     0     0     41
43    succ              FUNCTION    integer       0     0     0     42
44    pred              FUNCTION    integer       0     0     0     43
45    TypeChecking      PROGRAM     void          0     0     0     44
46    x                 VARIABLE    integer       0     0     0     0
47    y                 VARIABLE    integer       0     1     0     46
48    z                 VARIABLE    integer       0     2     0     47
49    result            VARIABLE    real          0     3     0     48

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index  Last     LPar     PSize    VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0      49       0        0        4

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Sukses menguji kemampuan semantic analyzer dalam menangani type checking pada operasi dan assignment ke variabel, hasil uji sudah benar.

Tabel III. ScopeBasicTest

Input

`program ScopeBasic;`
`variabel`
`    x: integer;`
 	
`prosedur TestProc;`
`variabel`
`    y: integer;`
`mulai`
`    y := 10;`
`    x := 20`
`selesai;`
 	
`mulai`

```
    x := 5;
    TestProc()
selesai.
```

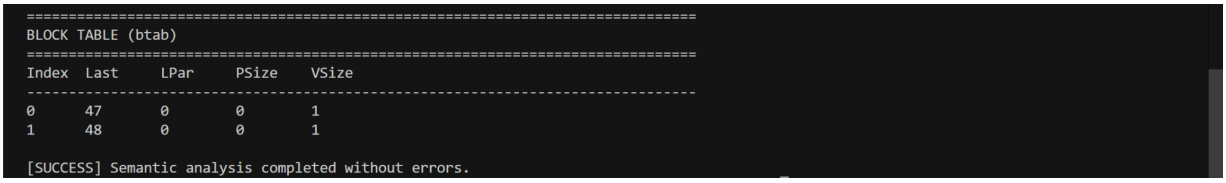
Output

```
Decorated AST:
========================================
ProgramNode(name: 'ScopeBasic')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ VarDecl('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
   │  └─ ProcDecl('TestProc')
   │     └─ Block → block_index:1, lev:1
   │        ├─ Declarations
   │        │  └─ VarDecl('y') → tab_index:48, type:integer, lev:1
   │        └─ CompoundStmt
   │           ├─ Assign → type:void, lev:1
   │           │  ├─ Variable('y') → tab_index:48, type:integer, lev:1
   │           │  └─ Number(10) → type:integer
   │           └─ Assign → type:void, lev:1
   │              ├─ Variable('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
   │              └─ Number(20) → type:integer
   └─ CompoundStmt
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(5) → type:integer
      └─ ProcCall('TestProc') → tab_index:47, type:void, lev:0
========================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer              TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                 TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean              TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                 TYPE         char            0      0      0      4
6      string               TYPE         string          0      0      0      5
7      dan                  PROCEDURE    void            0      0      0      6
8      atau                 PROCEDURE    void            0      0      0      7
9      tidak                PROCEDURE    void            0      0      0      8
10     bagi                 PROCEDURE    void            0      0      0      9
11     mod                  PROCEDURE    void            0      0      0      10
12     program              PROCEDURE    void            0      0      0      11
13     variabel             PROCEDURE    void            0      0      0      12
14     konstanta            PROCEDURE    void            0      0      0      13
15     tipe                 PROCEDURE    void            0      0      0      14
16     prosedur             PROCEDURE    void            0      0      0      15
17     fungsi               PROCEDURE    void            0      0      0      16
18     mulai                PROCEDURE    void            0      0      0      17
19     selesai              PROCEDURE    void            0      0      0      18
20     jika                 PROCEDURE    void            0      0      0      19
21     maka                 PROCEDURE    void            0      0      0      20
22     selain-itu           PROCEDURE    void            0      0      0      21
23     selama               PROCEDURE    void            0      0      0      22
24     lakukan              PROCEDURE    void            0      0      0      23
25     untuk                PROCEDURE    void            0      0      0      24
```

```
26      ke                      PROCEDURE     void            0       0       0       25
27      turun-ke                PROCEDURE     void            0       0       0       26
28      larik                   PROCEDURE     void            0       0       0       27
29      write                   PROCEDURE     void            0       0       0       28
30      writeln                 PROCEDURE     void            0       0       0       29
31      read                    PROCEDURE     void            0       0       0       30
32      readln                  PROCEDURE     void            0       0       0       31
33      abs                     FUNCTION      integer         0       0       0       32
34      sqr                     FUNCTION      integer         0       0       0       33
35      sqrt                    FUNCTION      real            0       0       0       34
36      sin                     FUNCTION      real            0       0       0       35
37      cos                     FUNCTION      real            0       0       0       36
38      exp                     FUNCTION      real            0       0       0       37
39      ln                      FUNCTION      real            0       0       0       38
40      odd                     FUNCTION      boolean         0       0       0       39
41      ord                     FUNCTION      integer         0       0       0       40
42      chr                     FUNCTION      char            0       0       0       41
43      succ                    FUNCTION      integer         0       0       0       42
44      pred                    FUNCTION      integer         0       0       0       43
45      ScopeBasic              PROGRAM       void            0       0       0       44
46      x                       VARIABLE      integer         0       0       0       0
47      TestProc                PROCEDURE     void            0       0       1       46
48      y                       VARIABLE      integer         1       3       0       0

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index  Last     LPar     PSize    VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0      47       0        0        1
1      48       0        0        1

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Bukti dan Keterangan

```
PS D:\Muhammad Raihan Nazhim Oktana\Kuliah STEI-K (IF-G) ITB\Tubes TBFO\PIA-Tubes-IF2224> uv run src/semantic_main.py test/milestone-3/input/test3.pas --decorated

Decorated AST:
========================================
ProgramNode(name: 'ScopeBasic')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ VarDecl('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
   │  └─ ProcDecl('TestProc')
   │     └─ Block → block_index:1, lev:1
   │        ├─ Declarations
   │        │  └─ VarDecl('y') → tab_index:48, type:integer, lev:1
   │        └─ CompoundStmt
   │           ├─ Assign → type:void, lev:1
   │           │  ├─ Variable('y') → tab_index:48, type:integer, lev:1
   │           │  └─ Number(10) → type:integer
   │           └─ Assign → type:void, lev:1
   │              ├─ Variable('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
   │              └─ Number(20) → type:integer
   └─ CompoundStmt
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(5) → type:integer
      └─ ProcCall('TestProc') → tab_index:47, type:void, lev:0
========================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer              TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                 TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean              TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                 TYPE         char            0      0      0      4
6      string               TYPE         string          0      0      0      5
7      dan                  PROCEDURE    void            0      0      0      6
8      atau                 PROCEDURE    void            0      0      0      7
9      tidak                PROCEDURE    void            0      0      0      8
10     bagi                 PROCEDURE    void            0      0      0      9
11     mod                  PROCEDURE    void            0      0      0      10
12     program              PROCEDURE    void            0      0      0      11
13     variabel             PROCEDURE    void            0      0      0      12
14     konstanta            PROCEDURE    void            0      0      0      13
15     tipe                 PROCEDURE    void            0      0      0      14
16     prosedur             PROCEDURE    void            0      0      0      15
17     fungsi               PROCEDURE    void            0      0      0      16
18     mulai                PROCEDURE    void            0      0      0      17
19     selesai              PROCEDURE    void            0      0      0      18
20     jika                 PROCEDURE    void            0      0      0      19
21     maka                 PROCEDURE    void            0      0      0      20
22     selain-itu           PROCEDURE    void            0      0      0      21
23     selama               PROCEDURE    void            0      0      0      22
24     lakukan              PROCEDURE    void            0      0      0      23
25     untuk                PROCEDURE    void            0      0      0      24
26     ke                   PROCEDURE    void            0      0      0      25
27     turun-ke             PROCEDURE    void            0      0      0      26
28     larik                PROCEDURE    void            0      0      0      27
29     write                PROCEDURE    void            0      0      0      28
30     writeln              PROCEDURE    void            0      0      0      29
31     read                 PROCEDURE    void            0      0      0      30
32     readln               PROCEDURE    void            0      0      0      31
33     abs                  FUNCTION     integer         0      0      0      32
34     sqr                  FUNCTION     integer         0      0      0      33
35     sqrt                 FUNCTION     real            0      0      0      34
36     sin                  FUNCTION     real            0      0      0      35
37     cos                  FUNCTION     real            0      0      0      36
38     exp                  FUNCTION     real            0      0      0      37
39     ln                   FUNCTION     real            0      0      0      38
40     odd                  FUNCTION     boolean         0      0      0      39
41     ord                  FUNCTION     integer         0      0      0      40
42     chr                  FUNCTION     char            0      0      0      41
43     succ                 FUNCTION     integer         0      0      0      42
44     pred                 FUNCTION     integer         0      0      0      43
45     ScopeBasic           PROGRAM      void            0      0      0      44
46     x                    VARIABLE     integer         0      0      0      0
47     TestProc             PROCEDURE    void            0      0      1      46
48     y                    VARIABLE     integer         1      3      0      0
```



Sukses menguji kemampuan semantic analyzer dalam menangani operasi scope basic, hasil uji sudah benar.

Tabel IV. NestedScopeTest

Input

```
program NestedScope;
variabel
    global_x: integer;

prosedur Outer;
variabel
    outer_y: integer;

    prosedur Inner;
    variabel
        inner_z: integer;
    mulai
        inner_z := 1;
        outer_y := 2;
        global_x := 3
    selesai;

mulai
    outer_y := 10;
    Inner()
selesai;

mulai
    global_x := 100;
    Outer()
selesai.
```

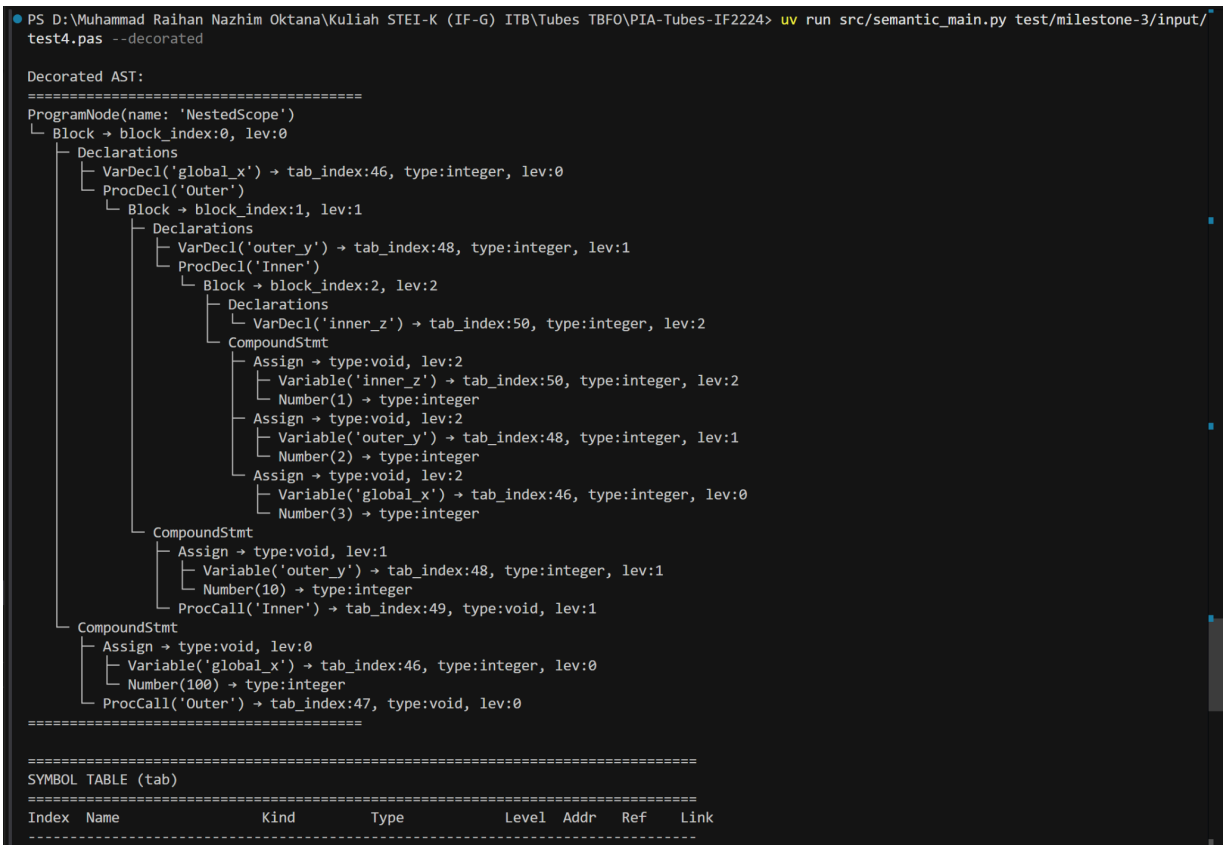
Output

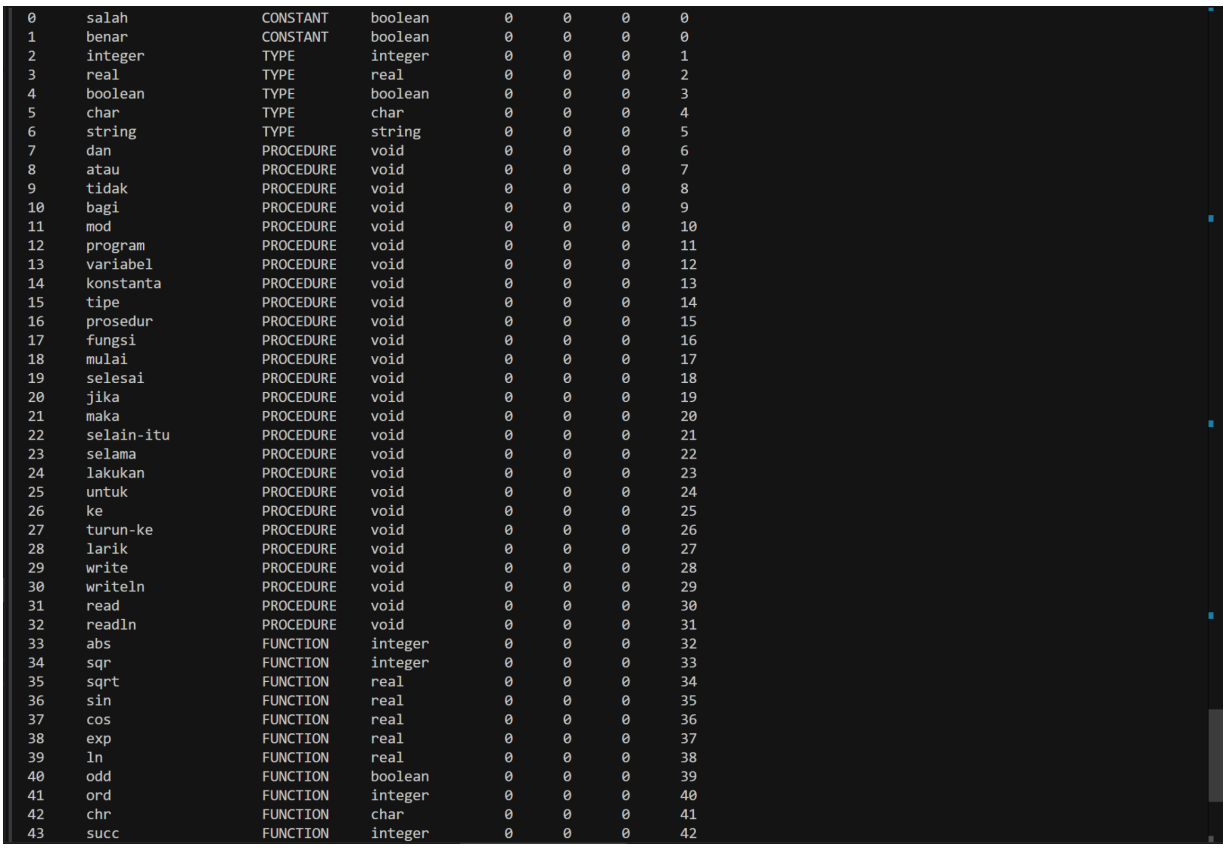
```
Decorated AST:
========================================
ProgramNode(name: 'NestedScope')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ VarDecl('global_x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
   │  └─ ProcDecl('Outer')
   │     └─ Block → block_index:1, lev:1
   │        ├─ Declarations
   │        │  ├─ VarDecl('outer_y') → tab_index:48, type:integer, lev:1
   │        │  └─ ProcDecl('Inner')
   │        │     └─ Block → block_index:2, lev:2
   │        │        ├─ Declarations
   │        │        │  └─ VarDecl('inner_z') → tab_index:50, type:integer, lev:2
   │        │        └─ CompoundStmt
```

```
    │           │           ├─ Assign → type:void, lev:2
    │           │           │  ├─ Variable('inner_z') → tab_index:50, type:integer, lev:2
    │           │           │  └─ Number(1) → type:integer
    │           │           ├─ Assign → type:void, lev:2
    │           │           │  ├─ Variable('outer_y') → tab_index:48, type:integer, lev:1
    │           │           │  └─ Number(2) → type:integer
    │           │           └─ Assign → type:void, lev:2
    │           │              ├─ Variable('global_x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
    │           │              └─ Number(3) → type:integer
    │           └─ CompoundStmt
    │              ├─ Assign → type:void, lev:1
    │              │  ├─ Variable('outer_y') → tab_index:48, type:integer, lev:1
    │              │  └─ Number(10) → type:integer
    │              └─ ProcCall('Inner') → tab_index:49, type:void, lev:1
    └─ CompoundStmt
       ├─ Assign → type:void, lev:0
       │  ├─ Variable('global_x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
       │  └─ Number(100) → type:integer
       └─ ProcCall('Outer') → tab_index:47, type:void, lev:0
========================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer              TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                 TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean              TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                 TYPE         char            0      0      0      4
6      string               TYPE         string          0      0      0      5
7      dan                  PROCEDURE    void            0      0      0      6
8      atau                 PROCEDURE    void            0      0      0      7
9      tidak                PROCEDURE    void            0      0      0      8
10     bagi                 PROCEDURE    void            0      0      0      9
11     mod                  PROCEDURE    void            0      0      0      10
12     program              PROCEDURE    void            0      0      0      11
13     variabel             PROCEDURE    void            0      0      0      12
14     konstanta            PROCEDURE    void            0      0      0      13
15     tipe                 PROCEDURE    void            0      0      0      14
16     prosedur             PROCEDURE    void            0      0      0      15
17     fungsi               PROCEDURE    void            0      0      0      16
18     mulai                PROCEDURE    void            0      0      0      17
19     selesai              PROCEDURE    void            0      0      0      18
20     jika                 PROCEDURE    void            0      0      0      19
21     maka                 PROCEDURE    void            0      0      0      20
22     selain-itu           PROCEDURE    void            0      0      0      21
23     selama               PROCEDURE    void            0      0      0      22
24     lakukan              PROCEDURE    void            0      0      0      23
25     untuk                PROCEDURE    void            0      0      0      24
26     ke                   PROCEDURE    void            0      0      0      25
27     turun-ke             PROCEDURE    void            0      0      0      26
28     larik                PROCEDURE    void            0      0      0      27
29     write                PROCEDURE    void            0      0      0      28
30     writeln              PROCEDURE    void            0      0      0      29
31     read                 PROCEDURE    void            0      0      0      30
32     readln               PROCEDURE    void            0      0      0      31
33     abs                  FUNCTION     integer         0      0      0      32
34     sqr                  FUNCTION     integer         0      0      0      33
35     sqrt                 FUNCTION     real            0      0      0      34
36     sin                  FUNCTION     real            0      0      0      35
37     cos                  FUNCTION     real            0      0      0      36
38     exp                  FUNCTION     real            0      0      0      37
39     ln                   FUNCTION     real            0      0      0      38
40     odd                  FUNCTION     boolean         0      0      0      39
41     ord                  FUNCTION     integer         0      0      0      40
42     chr                  FUNCTION     char            0      0      0      41
43     succ                 FUNCTION     integer         0      0      0      42
```

```
44      pred                    FUNCTION      integer          0       0       0       43
45      NestedScope             PROGRAM       void             0       0       0       44
46      global_x                VARIABLE      integer          0       0       0       0
47      Outer                   PROCEDURE     void             0       0       1       46
48      outer_y                 VARIABLE      integer          1       3       0       0
49      Inner                   PROCEDURE     void             1       0       2       48
50      inner_z                 VARIABLE      integer          2       3       0       0

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index   Last      LPar      PSize     VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0       47        0         0         1
1       49        0         0         1
2       50        0         0         1

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Bukti dan Keterangan





```
0     salah              CONSTANT    boolean        0     0     0     0
1     benar              CONSTANT    boolean        0     0     0     0
2     integer            TYPE        integer        0     0     0     1
3     real               TYPE        real           0     0     0     2
4     boolean            TYPE        boolean        0     0     0     3
5     char               TYPE        char           0     0     0     4
6     string             TYPE        string         0     0     0     5
7     dan                PROCEDURE   void           0     0     0     6
8     atau               PROCEDURE   void           0     0     0     7
9     tidak              PROCEDURE   void           0     0     0     8
10    bagi               PROCEDURE   void           0     0     0     9
11    mod                PROCEDURE   void           0     0     0     10
12    program            PROCEDURE   void           0     0     0     11
13    variabel           PROCEDURE   void           0     0     0     12
14    konstanta          PROCEDURE   void           0     0     0     13
15    tipe               PROCEDURE   void           0     0     0     14
16    prosedur           PROCEDURE   void           0     0     0     15
17    fungsi             PROCEDURE   void           0     0     0     16
18    mulai              PROCEDURE   void           0     0     0     17
19    selesai            PROCEDURE   void           0     0     0     18
20    jika               PROCEDURE   void           0     0     0     19
21    maka               PROCEDURE   void           0     0     0     20
22    selain-itu         PROCEDURE   void           0     0     0     21
23    selama             PROCEDURE   void           0     0     0     22
24    lakukan            PROCEDURE   void           0     0     0     23
25    untuk              PROCEDURE   void           0     0     0     24
26    ke                 PROCEDURE   void           0     0     0     25
27    turun-ke           PROCEDURE   void           0     0     0     26
28    larik              PROCEDURE   void           0     0     0     27
29    write              PROCEDURE   void           0     0     0     28
30    writeln            PROCEDURE   void           0     0     0     29
31    read               PROCEDURE   void           0     0     0     30
32    readln             PROCEDURE   void           0     0     0     31
33    abs                FUNCTION    integer        0     0     0     32
34    sqr                FUNCTION    integer        0     0     0     33
35    sqrt               FUNCTION    real           0     0     0     34
36    sin                FUNCTION    real           0     0     0     35
37    cos                FUNCTION    real           0     0     0     36
38    exp                FUNCTION    real           0     0     0     37
39    ln                 FUNCTION    real           0     0     0     38
40    odd                FUNCTION    boolean        0     0     0     39
41    ord                FUNCTION    integer        0     0     0     40
42    chr                FUNCTION    char           0     0     0     41
43    succ               FUNCTION    integer        0     0     0     42
44    pred               FUNCTION    integer        0     0     0     43
45    NestedScope        PROGRAM     void           0     0     0     44
46    global_x           VARIABLE    integer        0     0     0     0
47    Outer              PROCEDURE   void           0     0     1     46
48    outer_y            VARIABLE    integer        1     3     0     0
49    Inner              PROCEDURE   void           1     0     2     48
50    inner_z            VARIABLE    integer        2     3     0     0

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index  Last     LPar     PSize    VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0      47       0        0        1
1      49       0        0        1
2      50       0        0        1

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Sukses menguji kemampuan semantic analyzer dalam menangani operasi nested scope, hasil uji sudah benar.

Tabel V. ArrayBasicTest

Input

`program ArrayBasic;`
`variabel`
`    arr: larik[1..10] dari integer;`
`    i: integer;`
`mulai`
`    i := 1;`
`    arr[i] := 100;`
`    arr[5] := 200;`

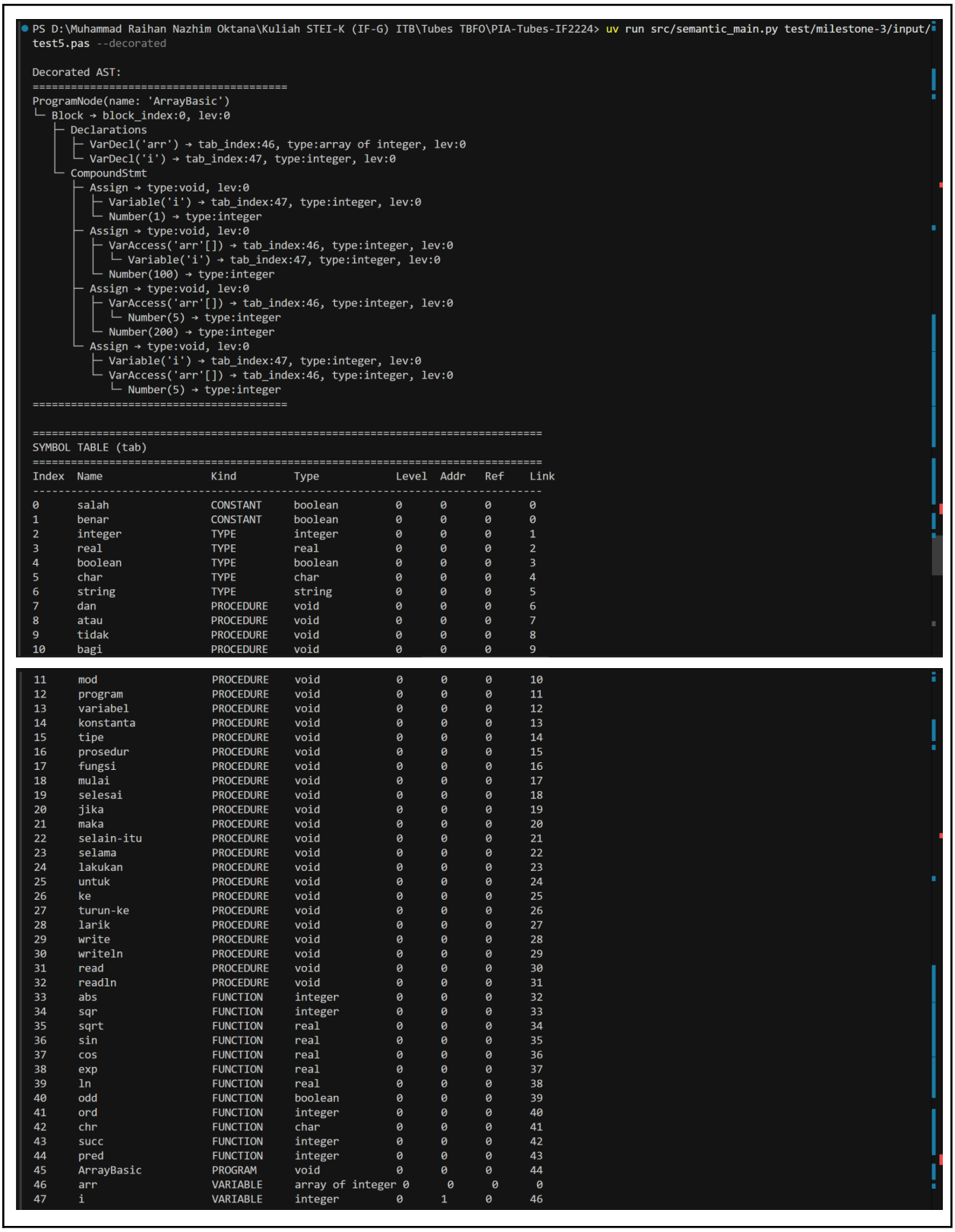
```
    i := arr[5]
selesai.
```

Output

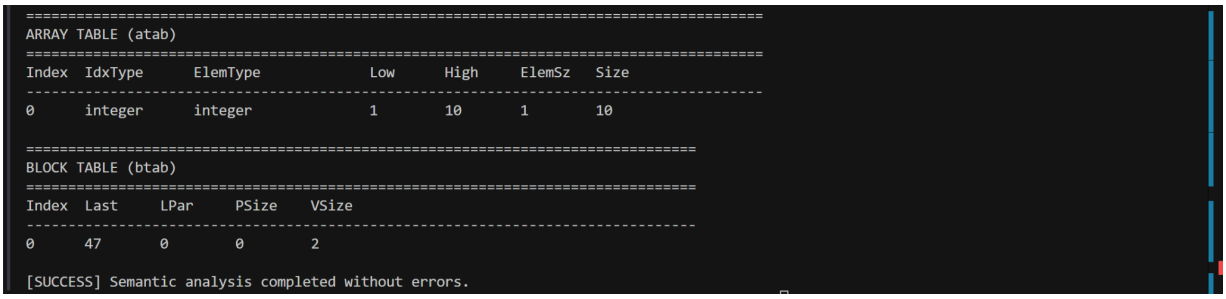
```
Decorated AST:
========================================
ProgramNode(name: 'ArrayBasic')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ VarDecl('arr') → tab_index:46, type:array of integer, lev:0
   │  └─ VarDecl('i') → tab_index:47, type:integer, lev:0
   └─ CompoundStmt
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('i') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(1) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ VarAccess('arr'[]) → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │  │  └─ Variable('i') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(100) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ VarAccess('arr'[]) → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │  │  └─ Number(5) → type:integer
      │  └─ Number(200) → type:integer
      └─ Assign → type:void, lev:0
         ├─ Variable('i') → tab_index:47, type:integer, lev:0
         └─ VarAccess('arr'[]) → tab_index:46, type:integer, lev:0
            └─ Number(5) → type:integer
========================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer              TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                 TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean              TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                 TYPE         char            0      0      0      4
6      string               TYPE         string          0      0      0      5
7      dan                  PROCEDURE    void            0      0      0      6
8      atau                 PROCEDURE    void            0      0      0      7
9      tidak                PROCEDURE    void            0      0      0      8
10     bagi                 PROCEDURE    void            0      0      0      9
11     mod                  PROCEDURE    void            0      0      0      10
12     program              PROCEDURE    void            0      0      0      11
13     variabel             PROCEDURE    void            0      0      0      12
14     konstanta            PROCEDURE    void            0      0      0      13
15     tipe                 PROCEDURE    void            0      0      0      14
16     prosedur             PROCEDURE    void            0      0      0      15
17     fungsi               PROCEDURE    void            0      0      0      16
18     mulai                PROCEDURE    void            0      0      0      17
19     selesai              PROCEDURE    void            0      0      0      18
20     jika                 PROCEDURE    void            0      0      0      19
21     maka                 PROCEDURE    void            0      0      0      20
22     selain-itu           PROCEDURE    void            0      0      0      21
23     selama               PROCEDURE    void            0      0      0      22
24     lakukan              PROCEDURE    void            0      0      0      23
25     untuk                PROCEDURE    void            0      0      0      24
```

```
26      ke                      PROCEDURE     void            0       0       0       25
27      turun-ke                PROCEDURE     void            0       0       0       26
28      larik                   PROCEDURE     void            0       0       0       27
29      write                   PROCEDURE     void            0       0       0       28
30      writeln                 PROCEDURE     void            0       0       0       29
31      read                    PROCEDURE     void            0       0       0       30
32      readln                  PROCEDURE     void            0       0       0       31
33      abs                     FUNCTION      integer         0       0       0       32
34      sqr                     FUNCTION      integer         0       0       0       33
35      sqrt                    FUNCTION      real            0       0       0       34
36      sin                     FUNCTION      real            0       0       0       35
37      cos                     FUNCTION      real            0       0       0       36
38      exp                     FUNCTION      real            0       0       0       37
39      ln                      FUNCTION      real            0       0       0       38
40      odd                     FUNCTION      boolean         0       0       0       39
41      ord                     FUNCTION      integer         0       0       0       40
42      chr                     FUNCTION      char            0       0       0       41
43      succ                    FUNCTION      integer         0       0       0       42
44      pred                    FUNCTION      integer         0       0       0       43
45      ArrayBasic              PROGRAM       void            0       0       0       44
46      arr                     VARIABLE      array of integer 0      0       0       0
47      i                       VARIABLE      integer         0       1       0       46

================================================================================
====
ARRAY TABLE (atab)
================================================================================
====
Index  IdxType      ElemType             Low      High     ElemSz   Size
--------------------------------------------------------------------------------
----
0      integer      integer              1        10       1        10

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index  Last     LPar     PSize    VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0      47       0        0        2

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Bukti dan Keterangan



```
PS D:\Muhammad Raihan Nazhim Oktana\Kuliah STEI-K (IF-G) ITB\Tubes TBFO\PIA-Tubes-IF2224> uv run src/semantic_main.py test/milestone-3/input/test5.pas --decorated

Decorated AST:
========================================
ProgramNode(name: 'ArrayBasic')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ VarDecl('arr') → tab_index:46, type:array of integer, lev:0
   │  └─ VarDecl('i') → tab_index:47, type:integer, lev:0
   └─ CompoundStmt
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('i') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(1) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ VarAccess('arr'[]) → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │  │  └─ Variable('i') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(100) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ VarAccess('arr'[]) → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │  │  └─ Number(5) → type:integer
      │  └─ Number(200) → type:integer
      └─ Assign → type:void, lev:0
         ├─ Variable('i') → tab_index:47, type:integer, lev:0
         └─ VarAccess('arr'[]) → tab_index:46, type:integer, lev:0
            └─ Number(5) → type:integer
========================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer              TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                 TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean              TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                 TYPE         char            0      0      0      4
6      string               TYPE         string          0      0      0      5
7      dan                  PROCEDURE    void            0      0      0      6
8      atau                 PROCEDURE    void            0      0      0      7
9      tidak                PROCEDURE    void            0      0      0      8
10     bagi                 PROCEDURE    void            0      0      0      9
11     mod                  PROCEDURE    void            0      0      0      10
12     program              PROCEDURE    void            0      0      0      11
13     variabel             PROCEDURE    void            0      0      0      12
14     konstanta            PROCEDURE    void            0      0      0      13
15     tipe                 PROCEDURE    void            0      0      0      14
16     prosedur             PROCEDURE    void            0      0      0      15
17     fungsi               PROCEDURE    void            0      0      0      16
18     mulai                PROCEDURE    void            0      0      0      17
19     selesai              PROCEDURE    void            0      0      0      18
20     jika                 PROCEDURE    void            0      0      0      19
21     maka                 PROCEDURE    void            0      0      0      20
22     selain-itu           PROCEDURE    void            0      0      0      21
23     selama               PROCEDURE    void            0      0      0      22
24     lakukan              PROCEDURE    void            0      0      0      23
25     untuk                PROCEDURE    void            0      0      0      24
26     ke                   PROCEDURE    void            0      0      0      25
27     turun-ke             PROCEDURE    void            0      0      0      26
28     larik                PROCEDURE    void            0      0      0      27
29     write                PROCEDURE    void            0      0      0      28
30     writeln              PROCEDURE    void            0      0      0      29
31     read                 PROCEDURE    void            0      0      0      30
32     readln               PROCEDURE    void            0      0      0      31
33     abs                  FUNCTION     integer         0      0      0      32
34     sqr                  FUNCTION     integer         0      0      0      33
35     sqrt                 FUNCTION     real            0      0      0      34
36     sin                  FUNCTION     real            0      0      0      35
37     cos                  FUNCTION     real            0      0      0      36
38     exp                  FUNCTION     real            0      0      0      37
39     ln                   FUNCTION     real            0      0      0      38
40     odd                  FUNCTION     boolean         0      0      0      39
41     ord                  FUNCTION     integer         0      0      0      40
42     chr                  FUNCTION     char            0      0      0      41
43     succ                 FUNCTION     integer         0      0      0      42
44     pred                 FUNCTION     integer         0      0      0      43
45     ArrayBasic           PROGRAM      void            0      0      0      44
46     arr                  VARIABLE     array of integer 0     0      0      0
47     i                    VARIABLE     integer         0      1      0      46
```



Sukses menguji kemampuan semantic analyzer dalam menangani tipe data array basic, hasil uji sudah benar.

Tabel VI. RecordBasicTest

Input

```
program RecordBasic;
tipe
    Person = rekaman
        age: integer;
        height: real;
    selesai;
variabel
    p: Person;
mulai
    p.age := 25;
    p.height := 175.5
selesai.
```

Output

```
Decorated AST:
========================================
ProgramNode(name: 'RecordBasic')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ TypeDecl('Person')
   │  │  └─ RecordType
   │  │     ├─ VarDecl('age')
   │  │     └─ VarDecl('height')
   │  └─ VarDecl('p') → tab_index:49, type:record, lev:0
   └─ CompoundStmt
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ VarAccess('.age') → tab_index:49, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(25) → type:integer
      └─ Assign → type:void, lev:0
         ├─ VarAccess('.height') → tab_index:49, type:real, lev:0
         └─ Number(175.5) → type:real
========================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
```

```
1       benar                   CONSTANT     boolean         0       0       0       0
2       integer                 TYPE         integer         0       0       0       1
3       real                    TYPE         real            0       0       0       2
4       boolean                 TYPE         boolean         0       0       0       3
5       char                    TYPE         char            0       0       0       4
6       string                  TYPE         string          0       0       0       5
7       dan                     PROCEDURE    void            0       0       0       6
8       atau                    PROCEDURE    void            0       0       0       7
9       tidak                   PROCEDURE    void            0       0       0       8
10      bagi                    PROCEDURE    void            0       0       0       9
11      mod                     PROCEDURE    void            0       0       0       10
12      program                 PROCEDURE    void            0       0       0       11
13      variabel                PROCEDURE    void            0       0       0       12
14      konstanta               PROCEDURE    void            0       0       0       13
15      tipe                    PROCEDURE    void            0       0       0       14
16      prosedur                PROCEDURE    void            0       0       0       15
17      fungsi                  PROCEDURE    void            0       0       0       16
18      mulai                   PROCEDURE    void            0       0       0       17
19      selesai                 PROCEDURE    void            0       0       0       18
20      jika                    PROCEDURE    void            0       0       0       19
21      maka                    PROCEDURE    void            0       0       0       20
22      selain-itu              PROCEDURE    void            0       0       0       21
23      selama                  PROCEDURE    void            0       0       0       22
24      lakukan                 PROCEDURE    void            0       0       0       23
25      untuk                   PROCEDURE    void            0       0       0       24
26      ke                      PROCEDURE    void            0       0       0       25
27      turun-ke                PROCEDURE    void            0       0       0       26
28      larik                   PROCEDURE    void            0       0       0       27
29      write                   PROCEDURE    void            0       0       0       28
30      writeln                 PROCEDURE    void            0       0       0       29
31      read                    PROCEDURE    void            0       0       0       30
32      readln                  PROCEDURE    void            0       0       0       31
33      abs                     FUNCTION     integer         0       0       0       32
34      sqr                     FUNCTION     integer         0       0       0       33
35      sqrt                    FUNCTION     real            0       0       0       34
36      sin                     FUNCTION     real            0       0       0       35
37      cos                     FUNCTION     real            0       0       0       36
38      exp                     FUNCTION     real            0       0       0       37
39      ln                      FUNCTION     real            0       0       0       38
40      odd                     FUNCTION     boolean         0       0       0       39
41      ord                     FUNCTION     integer         0       0       0       40
42      chr                     FUNCTION     char            0       0       0       41
43      succ                    FUNCTION     integer         0       0       0       42
44      pred                    FUNCTION     integer         0       0       0       43
45      RecordBasic             PROGRAM      void            0       0       0       44
46      age                     FIELD        integer         0       0       0       0
47      height                  FIELD        real            0       1       0       46
48      Person                  TYPE         record          0       0       1       45
49      p                       VARIABLE     record          0       0       0       0

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index  Last     LPar     PSize    VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0      49       0        0        1
1      47       0        0        0

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Bukti dan Keterangan

```
PS D:\Muhammad Raihan Nazhim Oktana\Kuliah STEI-K (IF-G) ITB\Tubes TBFO\PIA-Tubes-IF2224> uv run src/semantic_main.py test/milestone-3/input/test6.pas --decorated

Decorated AST:
========================================
ProgramNode(name: 'RecordBasic')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ TypeDecl('Person')
   │  │  └─ RecordType
   │  │     ├─ VarDecl('age')
   │  │     └─ VarDecl('height')
   │  └─ VarDecl('p') → tab_index:49, type:record, lev:0
   └─ CompoundStmt
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ VarAccess('.age') → tab_index:49, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(25) → type:integer
      └─ Assign → type:void, lev:0
         ├─ VarAccess('.height') → tab_index:49, type:real, lev:0
         └─ Number(175.5) → type:real
========================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer              TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                 TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean              TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                 TYPE         char            0      0      0      4
6      string               TYPE         string          0      0      0      5
7      dan                  PROCEDURE    void            0      0      0      6
8      atau                 PROCEDURE    void            0      0      0      7
9      tidak                PROCEDURE    void            0      0      0      8
10     bagi                 PROCEDURE    void            0      0      0      9
11     mod                  PROCEDURE    void            0      0      0      10
12     program              PROCEDURE    void            0      0      0      11
13     variabel             PROCEDURE    void            0      0      0      12
14     konstanta            PROCEDURE    void            0      0      0      13
15     tipe                 PROCEDURE    void            0      0      0      14
16     prosedur             PROCEDURE    void            0      0      0      15
17     fungsi               PROCEDURE    void            0      0      0      16
18     mulai                PROCEDURE    void            0      0      0      17
19     selesai              PROCEDURE    void            0      0      0      18
20     jika                 PROCEDURE    void            0      0      0      19
21     maka                 PROCEDURE    void            0      0      0      20
22     selain-itu           PROCEDURE    void            0      0      0      21
23     selama               PROCEDURE    void            0      0      0      22
24     lakukan              PROCEDURE    void            0      0      0      23
25     untuk                PROCEDURE    void            0      0      0      24
26     ke                   PROCEDURE    void            0      0      0      25
27     turun-ke             PROCEDURE    void            0      0      0      26
28     larik                PROCEDURE    void            0      0      0      27
29     write                PROCEDURE    void            0      0      0      28
30     writeln              PROCEDURE    void            0      0      0      29
31     read                 PROCEDURE    void            0      0      0      30
32     readln               PROCEDURE    void            0      0      0      31
33     abs                  FUNCTION     integer         0      0      0      32
34     sqr                  FUNCTION     integer         0      0      0      33
35     sqrt                 FUNCTION     real            0      0      0      34
36     sin                  FUNCTION     real            0      0      0      35
37     cos                  FUNCTION     real            0      0      0      36
38     exp                  FUNCTION     real            0      0      0      37
39     ln                   FUNCTION     real            0      0      0      38
40     odd                  FUNCTION     boolean         0      0      0      39
41     ord                  FUNCTION     integer         0      0      0      40
42     chr                  FUNCTION     char            0      0      0      41
43     succ                 FUNCTION     integer         0      0      0      42
44     pred                 FUNCTION     integer         0      0      0      43
45     RecordBasic          PROGRAM      void            0      0      0      44
46     age                  FIELD        integer         0      0      0      0
47     height               FIELD        real            0      1      0      46
48     Person               TYPE         record          0      0      1      45
49     p                    VARIABLE     record          0      0      0      0

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index  Last     LPar     PSize    VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0      49       0        0        1
1      47       0        0        0

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Sukses menguji kemampuan semantic analyzer dalam menangani tipe data record basic, hasil uji sudah benar.

Tabel VII. FunctionBasicTest

Input

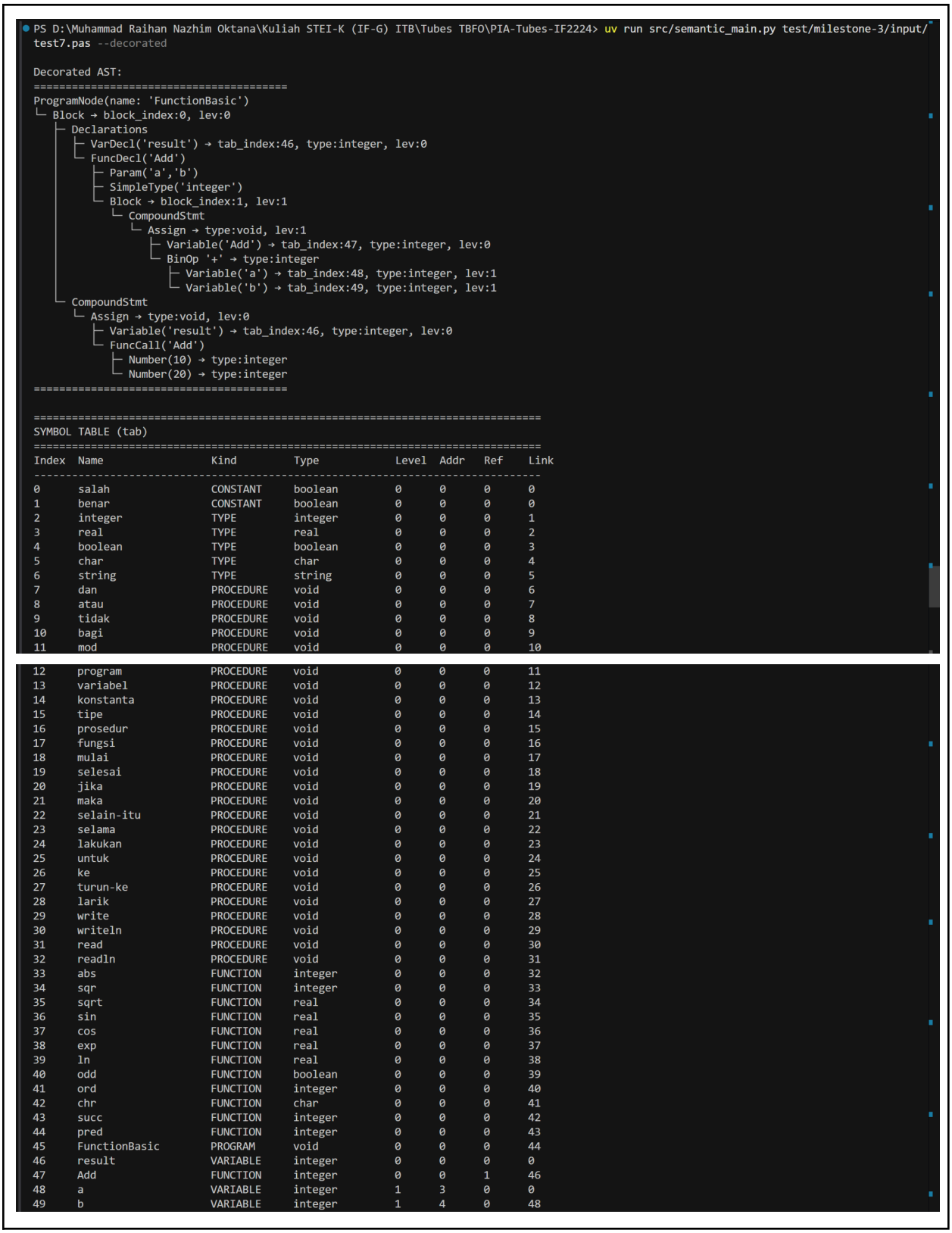
```
program FunctionBasic;
variabel
    result: integer;

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

mulai
    result := Add(10, 20)
selesai.
```

Output

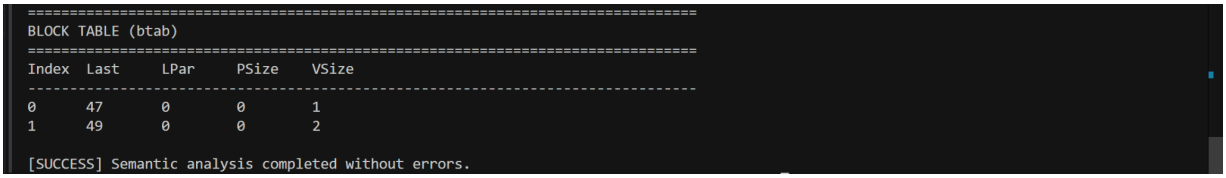
```
Decorated AST:
======================================
ProgramNode(name: 'FunctionBasic')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ VarDecl('result') → tab_index:46, type:integer, lev:0
   │  └─ FuncDecl('Add')
   │     ├─ Param('a','b')
   │     ├─ SimpleType('integer')
   │     └─ Block → block_index:1, lev:1
   │        └─ CompoundStmt
   │           └─ Assign → type:void, lev:1
   │              ├─ Variable('Add') → tab_index:47, type:integer, lev:0
   │              └─ BinOp '+' → type:integer
   │                 ├─ Variable('a') → tab_index:48, type:integer, lev:1
   │                 └─ Variable('b') → tab_index:49, type:integer, lev:1
   └─ CompoundStmt
      └─ Assign → type:void, lev:0
         ├─ Variable('result') → tab_index:46, type:integer, lev:0
         └─ FuncCall('Add')
            ├─ Number(10) → type:integer
            └─ Number(20) → type:integer
======================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer              TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                 TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean              TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                 TYPE         char            0      0      0      4
6      string               TYPE         string          0      0      0      5
```

```
7      dan                  PROCEDURE    void           0      0      0      6
8      atau                 PROCEDURE    void           0      0      0      7
9      tidak                PROCEDURE    void           0      0      0      8
10     bagi                 PROCEDURE    void           0      0      0      9
11     mod                  PROCEDURE    void           0      0      0      10
12     program              PROCEDURE    void           0      0      0      11
13     variabel             PROCEDURE    void           0      0      0      12
14     konstanta            PROCEDURE    void           0      0      0      13
15     tipe                 PROCEDURE    void           0      0      0      14
16     prosedur             PROCEDURE    void           0      0      0      15
17     fungsi               PROCEDURE    void           0      0      0      16
18     mulai                PROCEDURE    void           0      0      0      17
19     selesai              PROCEDURE    void           0      0      0      18
20     jika                 PROCEDURE    void           0      0      0      19
21     maka                 PROCEDURE    void           0      0      0      20
22     selain-itu           PROCEDURE    void           0      0      0      21
23     selama               PROCEDURE    void           0      0      0      22
24     lakukan              PROCEDURE    void           0      0      0      23
25     untuk                PROCEDURE    void           0      0      0      24
26     ke                   PROCEDURE    void           0      0      0      25
27     turun-ke             PROCEDURE    void           0      0      0      26
28     larik                PROCEDURE    void           0      0      0      27
29     write                PROCEDURE    void           0      0      0      28
30     writeln              PROCEDURE    void           0      0      0      29
31     read                 PROCEDURE    void           0      0      0      30
32     readln               PROCEDURE    void           0      0      0      31
33     abs                  FUNCTION     integer        0      0      0      32
34     sqr                  FUNCTION     integer        0      0      0      33
35     sqrt                 FUNCTION     real           0      0      0      34
36     sin                  FUNCTION     real           0      0      0      35
37     cos                  FUNCTION     real           0      0      0      36
38     exp                  FUNCTION     real           0      0      0      37
39     ln                   FUNCTION     real           0      0      0      38
40     odd                  FUNCTION     boolean        0      0      0      39
41     ord                  FUNCTION     integer        0      0      0      40
42     chr                  FUNCTION     char           0      0      0      41
43     succ                 FUNCTION     integer        0      0      0      42
44     pred                 FUNCTION     integer        0      0      0      43
45     FunctionBasic        PROGRAM      void           0      0      0      44
46     result               VARIABLE     integer        0      0      0      0
47     Add                  FUNCTION     integer        0      0      1      46
48     a                    VARIABLE     integer        1      3      0      0
49     b                    VARIABLE     integer        1      4      0      48

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index  Last     LPar     PSize    VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0      47       0        0        1
1      49       0        0        2

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Bukti dan Keterangan



```
PS D:\Muhammad Raihan Nazhim Oktana\Kuliah STEI-K (IF-G) ITB\Tubes TBFO\PIA-Tubes-IF2224> uv run src/semantic_main.py test/milestone-3/input/
test7.pas --decorated

Decorated AST:
======================================
ProgramNode(name: 'FunctionBasic')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ VarDecl('result') → tab_index:46, type:integer, lev:0
   │  └─ FuncDecl('Add')
   │     ├─ Param('a','b')
   │     ├─ SimpleType('integer')
   │     └─ Block → block_index:1, lev:1
   │        └─ CompoundStmt
   │           └─ Assign → type:void, lev:1
   │              ├─ Variable('Add') → tab_index:47, type:integer, lev:0
   │              └─ BinOp '+' → type:integer
   │                 ├─ Variable('a') → tab_index:48, type:integer, lev:1
   │                 └─ Variable('b') → tab_index:49, type:integer, lev:1
   └─ CompoundStmt
      └─ Assign → type:void, lev:0
         ├─ Variable('result') → tab_index:46, type:integer, lev:0
         └─ FuncCall('Add')
            ├─ Number(10) → type:integer
            └─ Number(20) → type:integer
======================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer              TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                 TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean              TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                 TYPE         char            0      0      0      4
6      string               TYPE         string          0      0      0      5
7      dan                  PROCEDURE    void            0      0      0      6
8      atau                 PROCEDURE    void            0      0      0      7
9      tidak                PROCEDURE    void            0      0      0      8
10     bagi                 PROCEDURE    void            0      0      0      9
11     mod                  PROCEDURE    void            0      0      0      10
12     program              PROCEDURE    void            0      0      0      11
13     variabel             PROCEDURE    void            0      0      0      12
14     konstanta            PROCEDURE    void            0      0      0      13
15     tipe                 PROCEDURE    void            0      0      0      14
16     prosedur             PROCEDURE    void            0      0      0      15
17     fungsi               PROCEDURE    void            0      0      0      16
18     mulai                PROCEDURE    void            0      0      0      17
19     selesai              PROCEDURE    void            0      0      0      18
20     jika                 PROCEDURE    void            0      0      0      19
21     maka                 PROCEDURE    void            0      0      0      20
22     selain-itu           PROCEDURE    void            0      0      0      21
23     selama               PROCEDURE    void            0      0      0      22
24     lakukan              PROCEDURE    void            0      0      0      23
25     untuk                PROCEDURE    void            0      0      0      24
26     ke                   PROCEDURE    void            0      0      0      25
27     turun-ke             PROCEDURE    void            0      0      0      26
28     larik                PROCEDURE    void            0      0      0      27
29     write                PROCEDURE    void            0      0      0      28
30     writeln              PROCEDURE    void            0      0      0      29
31     read                 PROCEDURE    void            0      0      0      30
32     readln               PROCEDURE    void            0      0      0      31
33     abs                  FUNCTION     integer         0      0      0      32
34     sqr                  FUNCTION     integer         0      0      0      33
35     sqrt                 FUNCTION     real            0      0      0      34
36     sin                  FUNCTION     real            0      0      0      35
37     cos                  FUNCTION     real            0      0      0      36
38     exp                  FUNCTION     real            0      0      0      37
39     ln                   FUNCTION     real            0      0      0      38
40     odd                  FUNCTION     boolean         0      0      0      39
41     ord                  FUNCTION     integer         0      0      0      40
42     chr                  FUNCTION     char            0      0      0      41
43     succ                 FUNCTION     integer         0      0      0      42
44     pred                 FUNCTION     integer         0      0      0      43
45     FunctionBasic        PROGRAM      void            0      0      0      44
46     result               VARIABLE     integer         0      0      0      0
47     Add                  FUNCTION     integer         0      0      1      46
48     a                    VARIABLE     integer         1      3      0      0
49     b                    VARIABLE     integer         1      4      0      48
```



Sukses menguji kemampuan semantic analyzer dalam menangani operasi function basic, hasil uji sudah benar.

Tabel VIII. ProcedureParamsTest

Input

```
program ProcedureParams;
variabel
    x, y: integer;

prosedur Swap(a, b: integer);
variabel
    temp: integer;
mulai
    temp := a;
    a := b;
    b := temp
selesai;

mulai
    x := 10;
    y := 20;
    Swap(x, y)
selesai.
```

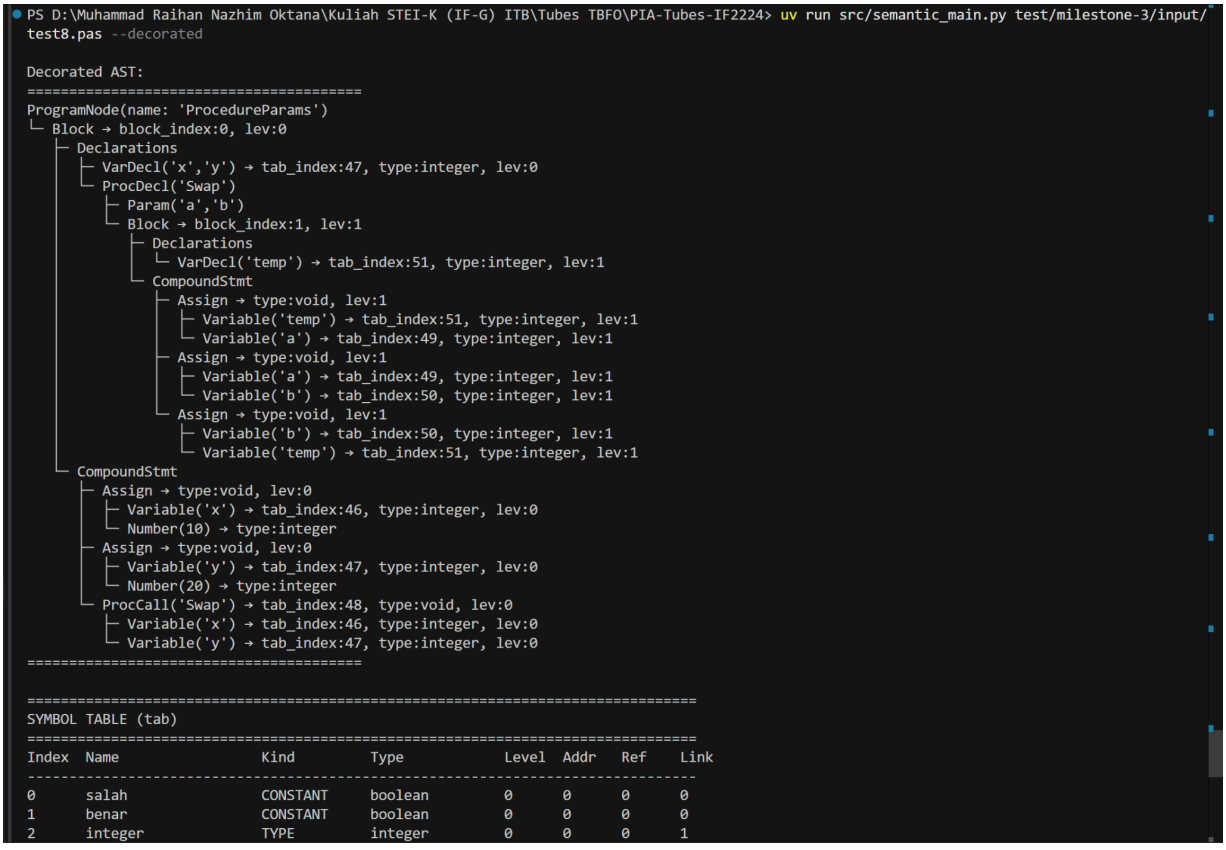
Output

```
Decorated AST:
========================================
ProgramNode(name: 'ProcedureParams')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ VarDecl('x','y') → tab_index:47, type:integer, lev:0
   │  └─ ProcDecl('Swap')
   │     ├─ Param('a','b')
   │     └─ Block → block_index:1, lev:1
   │        ├─ Declarations
   │        │  └─ VarDecl('temp') → tab_index:51, type:integer, lev:1
   │        └─ CompoundStmt
   │           ├─ Assign → type:void, lev:1
   │           │  ├─ Variable('temp') → tab_index:51, type:integer, lev:1
   │           │  └─ Variable('a') → tab_index:49, type:integer, lev:1
   │           ├─ Assign → type:void, lev:1
   │           │  ├─ Variable('a') → tab_index:49, type:integer, lev:1
   │           │  └─ Variable('b') → tab_index:50, type:integer, lev:1
   │           └─ Assign → type:void, lev:1
   │              ├─ Variable('b') → tab_index:50, type:integer, lev:1
   │              └─ Variable('temp') → tab_index:51, type:integer, lev:1
   └─ CompoundStmt
      ├─ Assign → type:void, lev:0
```

```
      │  ├─ Variable('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(10) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('y') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(20) → type:integer
      └─ ProcCall('Swap') → tab_index:48, type:void, lev:0
         ├─ Variable('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
         └─ Variable('y') → tab_index:47, type:integer, lev:0
=======================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer              TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                 TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean              TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                 TYPE         char            0      0      0      4
6      string               TYPE         string          0      0      0      5
7      dan                  PROCEDURE    void            0      0      0      6
8      atau                 PROCEDURE    void            0      0      0      7
9      tidak                PROCEDURE    void            0      0      0      8
10     bagi                 PROCEDURE    void            0      0      0      9
11     mod                  PROCEDURE    void            0      0      0      10
12     program              PROCEDURE    void            0      0      0      11
13     variabel             PROCEDURE    void            0      0      0      12
14     konstanta            PROCEDURE    void            0      0      0      13
15     tipe                 PROCEDURE    void            0      0      0      14
16     prosedur             PROCEDURE    void            0      0      0      15
17     fungsi               PROCEDURE    void            0      0      0      16
18     mulai                PROCEDURE    void            0      0      0      17
19     selesai              PROCEDURE    void            0      0      0      18
20     jika                 PROCEDURE    void            0      0      0      19
21     maka                 PROCEDURE    void            0      0      0      20
22     selain-itu           PROCEDURE    void            0      0      0      21
23     selama               PROCEDURE    void            0      0      0      22
24     lakukan              PROCEDURE    void            0      0      0      23
25     untuk                PROCEDURE    void            0      0      0      24
26     ke                   PROCEDURE    void            0      0      0      25
27     turun-ke             PROCEDURE    void            0      0      0      26
28     larik                PROCEDURE    void            0      0      0      27
29     write                PROCEDURE    void            0      0      0      28
30     writeln              PROCEDURE    void            0      0      0      29
31     read                 PROCEDURE    void            0      0      0      30
32     readln               PROCEDURE    void            0      0      0      31
33     abs                  FUNCTION     integer         0      0      0      32
34     sqr                  FUNCTION     integer         0      0      0      33
35     sqrt                 FUNCTION     real            0      0      0      34
36     sin                  FUNCTION     real            0      0      0      35
37     cos                  FUNCTION     real            0      0      0      36
38     exp                  FUNCTION     real            0      0      0      37
39     ln                   FUNCTION     real            0      0      0      38
40     odd                  FUNCTION     boolean         0      0      0      39
41     ord                  FUNCTION     integer         0      0      0      40
42     chr                  FUNCTION     char            0      0      0      41
43     succ                 FUNCTION     integer         0      0      0      42
44     pred                 FUNCTION     integer         0      0      0      43
45     ProcedureParams      PROGRAM      void            0      0      0      44
46     x                    VARIABLE     integer         0      0      0      0
```

```
47      y                       VARIABLE      integer          0       1       0       46
48      Swap                    PROCEDURE     void             0       0       1       47
49      a                       VARIABLE      integer          1       3       0       0
50      b                       VARIABLE      integer          1       4       0       49
51      temp                    VARIABLE      integer          1       5       0       50

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index   Last      LPar      PSize     VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0       48        0         0         2
1       51        0         0         3

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Bukti dan Keterangan



```
3     real              TYPE        real        0     0     0     2
4     boolean           TYPE        boolean     0     0     0     3
5     char              TYPE        char        0     0     0     4
6     string            TYPE        string      0     0     0     5
7     dan               PROCEDURE   void        0     0     0     6
8     atau              PROCEDURE   void        0     0     0     7
9     tidak             PROCEDURE   void        0     0     0     8
10    bagi              PROCEDURE   void        0     0     0     9
11    mod               PROCEDURE   void        0     0     0     10
12    program           PROCEDURE   void        0     0     0     11
13    variabel          PROCEDURE   void        0     0     0     12
14    konstanta         PROCEDURE   void        0     0     0     13
15    tipe              PROCEDURE   void        0     0     0     14
16    prosedur          PROCEDURE   void        0     0     0     15
17    fungsi            PROCEDURE   void        0     0     0     16
18    mulai             PROCEDURE   void        0     0     0     17
19    selesai           PROCEDURE   void        0     0     0     18
20    jika              PROCEDURE   void        0     0     0     19
21    maka              PROCEDURE   void        0     0     0     20
22    selain-itu        PROCEDURE   void        0     0     0     21
23    selama            PROCEDURE   void        0     0     0     22
24    lakukan           PROCEDURE   void        0     0     0     23
25    untuk             PROCEDURE   void        0     0     0     24
26    ke                PROCEDURE   void        0     0     0     25
27    turun-ke          PROCEDURE   void        0     0     0     26
28    larik             PROCEDURE   void        0     0     0     27
29    write             PROCEDURE   void        0     0     0     28
30    writeln           PROCEDURE   void        0     0     0     29
31    read              PROCEDURE   void        0     0     0     30
32    readln            PROCEDURE   void        0     0     0     31
33    abs               FUNCTION    integer     0     0     0     32
34    sqr               FUNCTION    integer     0     0     0     33
35    sqrt              FUNCTION    real        0     0     0     34
36    sin               FUNCTION    real        0     0     0     35
37    cos               FUNCTION    real        0     0     0     36
38    exp               FUNCTION    real        0     0     0     37
39    ln                FUNCTION    real        0     0     0     38
40    odd               FUNCTION    boolean     0     0     0     39
41    ord               FUNCTION    integer     0     0     0     40
42    chr               FUNCTION    char        0     0     0     41
43    succ              FUNCTION    integer     0     0     0     42
44    pred              FUNCTION    integer     0     0     0     43
45    ProcedureParams   PROGRAM     void        0     0     0     44
46    x                 VARIABLE    integer     0     0     0     0
47    y                 VARIABLE    integer     0     1     0     46
48    Swap              PROCEDURE   void        0     0     1     47
49    a                 VARIABLE    integer     1     3     0     0
50    b                 VARIABLE    integer     1     4     0     49
51    temp              VARIABLE    integer     1     5     0     50

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index  Last     LPar     PSize    VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0      48       0        0        2
1      51       0        0        3

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Sukses menguji kemampuan semantic analyzer dalam menangani operasi prosedur dengan parameter, hasil uji sudah benar.

Tabel IX. ComplexExpressionTest

Input

`program ComplexExpressions;`
`variabel`
`    a, b, c: integer;`
`    x, y: real;`
`    flag: boolean;`
`mulai`
`    a := 10;`
`    b := 20;`
`    c := 30;`

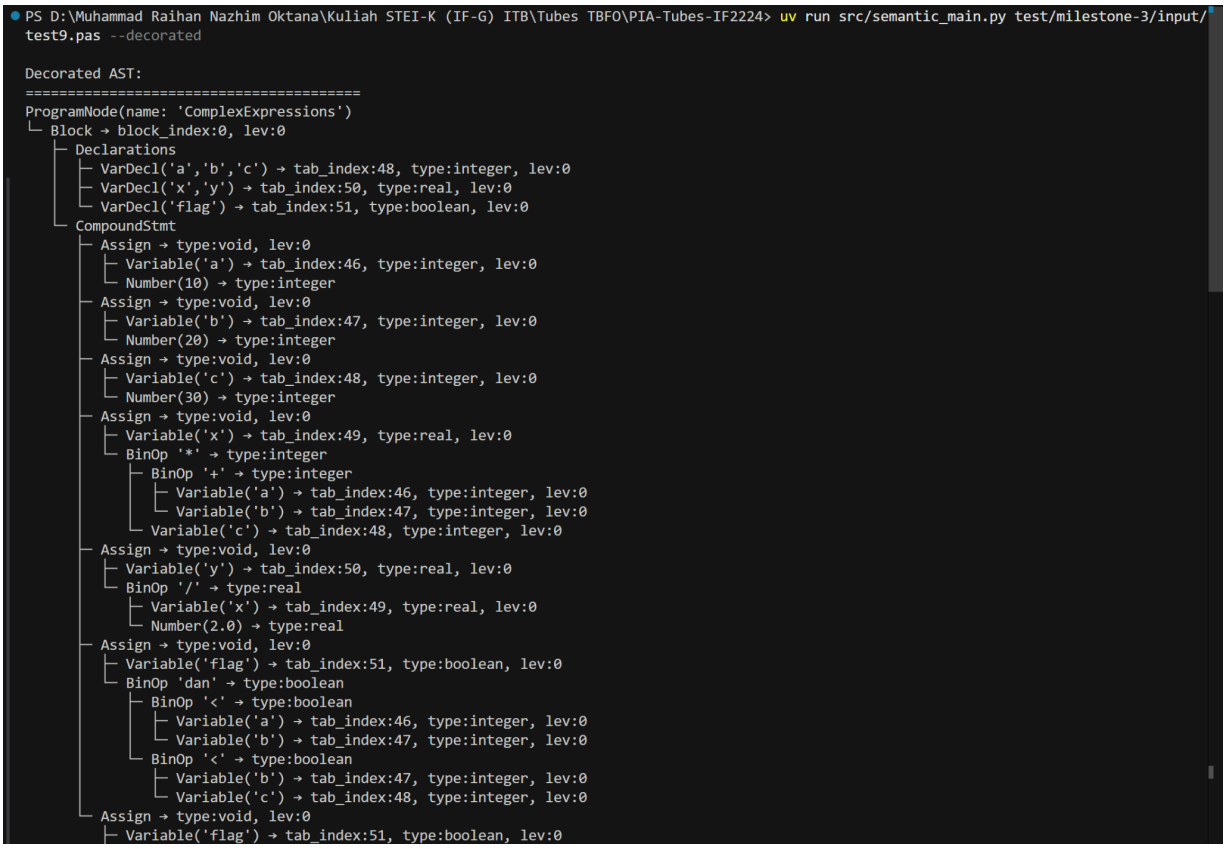
```
    x := (a + b) * c;
    y := x / 2.0;
    flag := (a < b) dan (b < c);
    flag := tidak flag atau (a = 10)
selesai.
```

Output

```
Decorated AST:
======================================
ProgramNode(name: 'ComplexExpressions')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ VarDecl('a','b','c') → tab_index:48, type:integer, lev:0
   │  ├─ VarDecl('x','y') → tab_index:50, type:real, lev:0
   │  └─ VarDecl('flag') → tab_index:51, type:boolean, lev:0
   └─ CompoundStmt
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('a') → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(10) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('b') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(20) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('c') → tab_index:48, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(30) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('x') → tab_index:49, type:real, lev:0
      │  └─ BinOp '*' → type:integer
      │     ├─ BinOp '+' → type:integer
      │     │  ├─ Variable('a') → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │     │  └─ Variable('b') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │     └─ Variable('c') → tab_index:48, type:integer, lev:0
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('y') → tab_index:50, type:real, lev:0
      │  └─ BinOp '/' → type:real
      │     ├─ Variable('x') → tab_index:49, type:real, lev:0
      │     └─ Number(2.0) → type:real
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('flag') → tab_index:51, type:boolean, lev:0
      │  └─ BinOp 'dan' → type:boolean
      │     ├─ BinOp '<' → type:boolean
      │     │  ├─ Variable('a') → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │     │  └─ Variable('b') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │     └─ BinOp '<' → type:boolean
      │        ├─ Variable('b') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │        └─ Variable('c') → tab_index:48, type:integer, lev:0
      └─ Assign → type:void, lev:0
         ├─ Variable('flag') → tab_index:51, type:boolean, lev:0
         └─ BinOp 'atau' → type:boolean
            ├─ UnaryOp 'tidak'
            │  └─ Variable('flag') → tab_index:51, type:boolean, lev:0
            └─ BinOp '=' → type:boolean
               ├─ Variable('a') → tab_index:46, type:integer, lev:0
               └─ Number(10) → type:integer
======================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
```

```
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer              TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                 TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean              TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                 TYPE         char            0      0      0      4
6      string               TYPE         string          0      0      0      5
7      dan                  PROCEDURE    void            0      0      0      6
8      atau                 PROCEDURE    void            0      0      0      7
9      tidak                PROCEDURE    void            0      0      0      8
10     bagi                 PROCEDURE    void            0      0      0      9
11     mod                  PROCEDURE    void            0      0      0      10
12     program              PROCEDURE    void            0      0      0      11
13     variabel             PROCEDURE    void            0      0      0      12
14     konstanta            PROCEDURE    void            0      0      0      13
15     tipe                 PROCEDURE    void            0      0      0      14
16     prosedur             PROCEDURE    void            0      0      0      15
17     fungsi               PROCEDURE    void            0      0      0      16
18     mulai                PROCEDURE    void            0      0      0      17
19     selesai              PROCEDURE    void            0      0      0      18
20     jika                 PROCEDURE    void            0      0      0      19
21     maka                 PROCEDURE    void            0      0      0      20
22     selain-itu           PROCEDURE    void            0      0      0      21
23     selama               PROCEDURE    void            0      0      0      22
24     lakukan              PROCEDURE    void            0      0      0      23
25     untuk                PROCEDURE    void            0      0      0      24
26     ke                   PROCEDURE    void            0      0      0      25
27     turun-ke             PROCEDURE    void            0      0      0      26
28     larik                PROCEDURE    void            0      0      0      27
29     write                PROCEDURE    void            0      0      0      28
30     writeln              PROCEDURE    void            0      0      0      29
31     read                 PROCEDURE    void            0      0      0      30
32     readln               PROCEDURE    void            0      0      0      31
33     abs                  FUNCTION     integer         0      0      0      32
34     sqr                  FUNCTION     integer         0      0      0      33
35     sqrt                 FUNCTION     real            0      0      0      34
36     sin                  FUNCTION     real            0      0      0      35
37     cos                  FUNCTION     real            0      0      0      36
38     exp                  FUNCTION     real            0      0      0      37
39     ln                   FUNCTION     real            0      0      0      38
40     odd                  FUNCTION     boolean         0      0      0      39
41     ord                  FUNCTION     integer         0      0      0      40
42     chr                  FUNCTION     char            0      0      0      41
43     succ                 FUNCTION     integer         0      0      0      42
44     pred                 FUNCTION     integer         0      0      0      43
45     ComplexExpressions   PROGRAM      void            0      0      0      44
46     a                    VARIABLE     integer         0      0      0      0
47     b                    VARIABLE     integer         0      1      0      46
48     c                    VARIABLE     integer         0      2      0      47
49     x                    VARIABLE     real            0      3      0      48
50     y                    VARIABLE     real            0      4      0      49
51     flag                 VARIABLE     boolean         0      5      0      50

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index  Last     LPar     PSize    VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0      51       0        0        6

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Bukti dan Keterangan



```
PS D:\Muhammad Raihan Nazhim Oktana\Kuliah STEI-K (IF-G) ITB\Tubes TBFO\PIA-Tubes-IF2224> uv run src/semantic_main.py test/milestone-3/input/
test9.pas --decorated

Decorated AST:
======================================
ProgramNode(name: 'ComplexExpressions')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ VarDecl('a','b','c') → tab_index:48, type:integer, lev:0
   │  ├─ VarDecl('x','y') → tab_index:50, type:real, lev:0
   │  └─ VarDecl('flag') → tab_index:51, type:boolean, lev:0
   └─ CompoundStmt
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('a') → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(10) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('b') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(20) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('c') → tab_index:48, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(30) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('x') → tab_index:49, type:real, lev:0
      │  └─ BinOp '*' → type:integer
      │     ├─ BinOp '+' → type:integer
      │     │  ├─ Variable('a') → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │     │  └─ Variable('b') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │     └─ Variable('c') → tab_index:48, type:integer, lev:0
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('y') → tab_index:50, type:real, lev:0
      │  └─ BinOp '/' → type:real
      │     ├─ Variable('x') → tab_index:49, type:real, lev:0
      │     └─ Number(2.0) → type:real
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('flag') → tab_index:51, type:boolean, lev:0
      │  └─ BinOp 'dan' → type:boolean
      │     ├─ BinOp '<' → type:boolean
      │     │  ├─ Variable('a') → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │     │  └─ Variable('b') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │     └─ BinOp '<' → type:boolean
      │        ├─ Variable('b') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │        └─ Variable('c') → tab_index:48, type:integer, lev:0
      └─ Assign → type:void, lev:0
         ├─ Variable('flag') → tab_index:51, type:boolean, lev:0
```

```
          └─ BinOp 'atau' → type:boolean
             ├─ UnaryOp 'tidak'
             │  └─ Variable('flag') → tab_index:51, type:boolean, lev:0
             └─ BinOp '=' → type:boolean
                ├─ Variable('a') → tab_index:46, type:integer, lev:0
                └─ Number(10) → type:integer
======================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer              TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                 TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean              TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                 TYPE         char            0      0      0      4
6      string               TYPE         string          0      0      0      5
7      dan                  PROCEDURE    void            0      0      0      6
8      atau                 PROCEDURE    void            0      0      0      7
9      tidak                PROCEDURE    void            0      0      0      8
10     bagi                 PROCEDURE    void            0      0      0      9
11     mod                  PROCEDURE    void            0      0      0      10
12     program              PROCEDURE    void            0      0      0      11
13     variabel             PROCEDURE    void            0      0      0      12
14     konstanta            PROCEDURE    void            0      0      0      13
15     tipe                 PROCEDURE    void            0      0      0      14
16     prosedur             PROCEDURE    void            0      0      0      15
17     fungsi               PROCEDURE    void            0      0      0      16
18     mulai                PROCEDURE    void            0      0      0      17
19     selesai              PROCEDURE    void            0      0      0      18
20     jika                 PROCEDURE    void            0      0      0      19
21     maka                 PROCEDURE    void            0      0      0      20
22     selain-itu           PROCEDURE    void            0      0      0      21
23     selama               PROCEDURE    void            0      0      0      22
24     lakukan              PROCEDURE    void            0      0      0      23
25     untuk                PROCEDURE    void            0      0      0      24
26     ke                   PROCEDURE    void            0      0      0      25
27     turun-ke             PROCEDURE    void            0      0      0      26
28     larik                PROCEDURE    void            0      0      0      27
29     write                PROCEDURE    void            0      0      0      28
30     writeln              PROCEDURE    void            0      0      0      29
31     read                 PROCEDURE    void            0      0      0      30
32     readln               PROCEDURE    void            0      0      0      31
33     abs                  FUNCTION     integer         0      0      0      32
34     sqr                  FUNCTION     integer         0      0      0      33
35     sqrt                 FUNCTION     real            0      0      0      34
36     sin                  FUNCTION     real            0      0      0      35
37     cos                  FUNCTION     real            0      0      0      36
38     exp                  FUNCTION     real            0      0      0      37
39     ln                   FUNCTION     real            0      0      0      38
40     odd                  FUNCTION     boolean         0      0      0      39
41     ord                  FUNCTION     integer         0      0      0      40
42     chr                  FUNCTION     char            0      0      0      41
43     succ                 FUNCTION     integer         0      0      0      42
44     pred                 FUNCTION     integer         0      0      0      43
45     ComplexExpressions   PROGRAM      void            0      0      0      44
46     a                    VARIABLE     integer         0      0      0      0
47     b                    VARIABLE     integer         0      1      0      46
48     c                    VARIABLE     integer         0      2      0      47
49     x                    VARIABLE     real            0      3      0      48
50     y                    VARIABLE     real            0      4      0      49
51     flag                 VARIABLE     boolean         0      5      0      50

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index  Last     LPar     PSize    VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0      51       0        0        6

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Sukses menguji kemampuan semantic analyzer dalam menangani bentuk ekspresi yang kompleks, hasil uji sudah benar.

Tabel X. ControlFlowTest

Input

```
program ControlFlow;
variabel
    x, y, max: integer;
    i, sum: integer;
mulai
    x := 10;
    y := 20;

    jika x > y maka
        max := x
    selain-itu
        max := y;

    sum := 0;
    i := 1;
    selama i <= 10 lakukan
    mulai
        sum := sum + i;
        i := i + 1
    selesai
selesai.
```

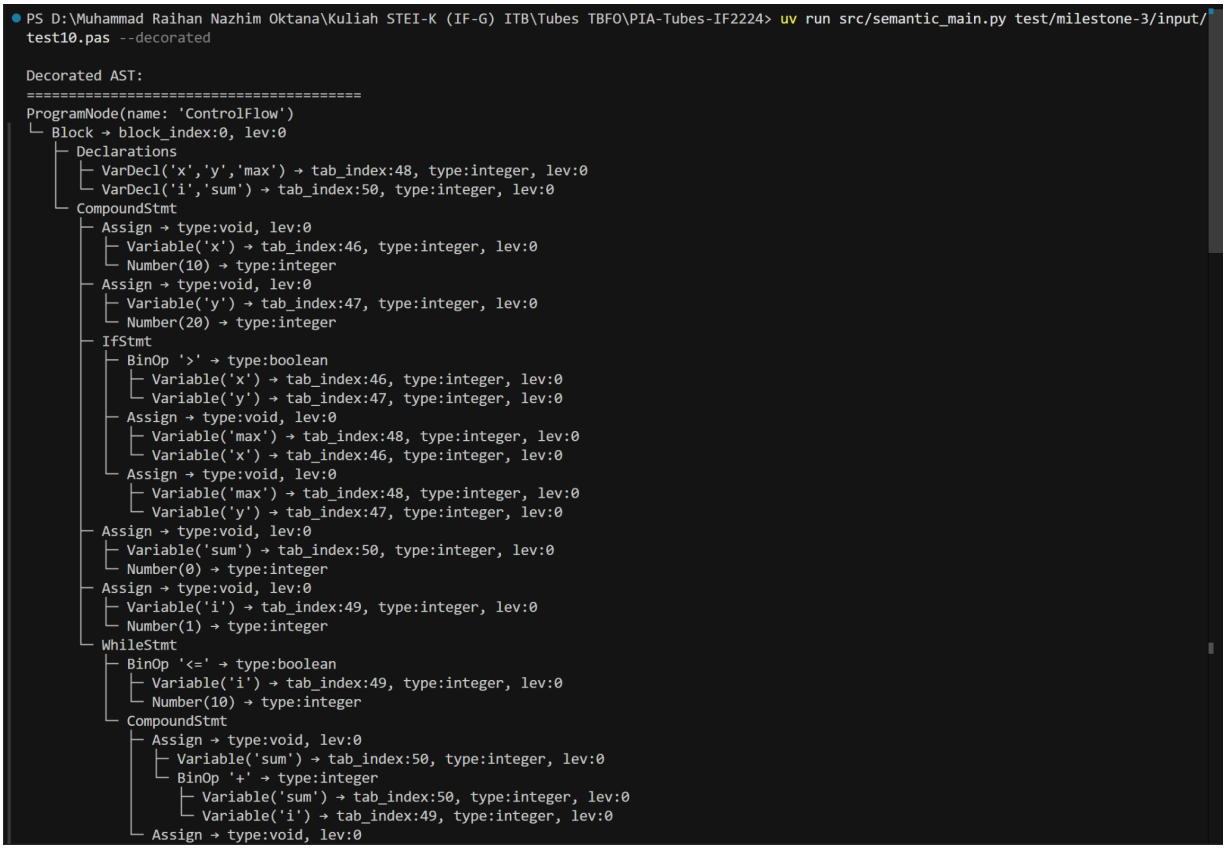
Output

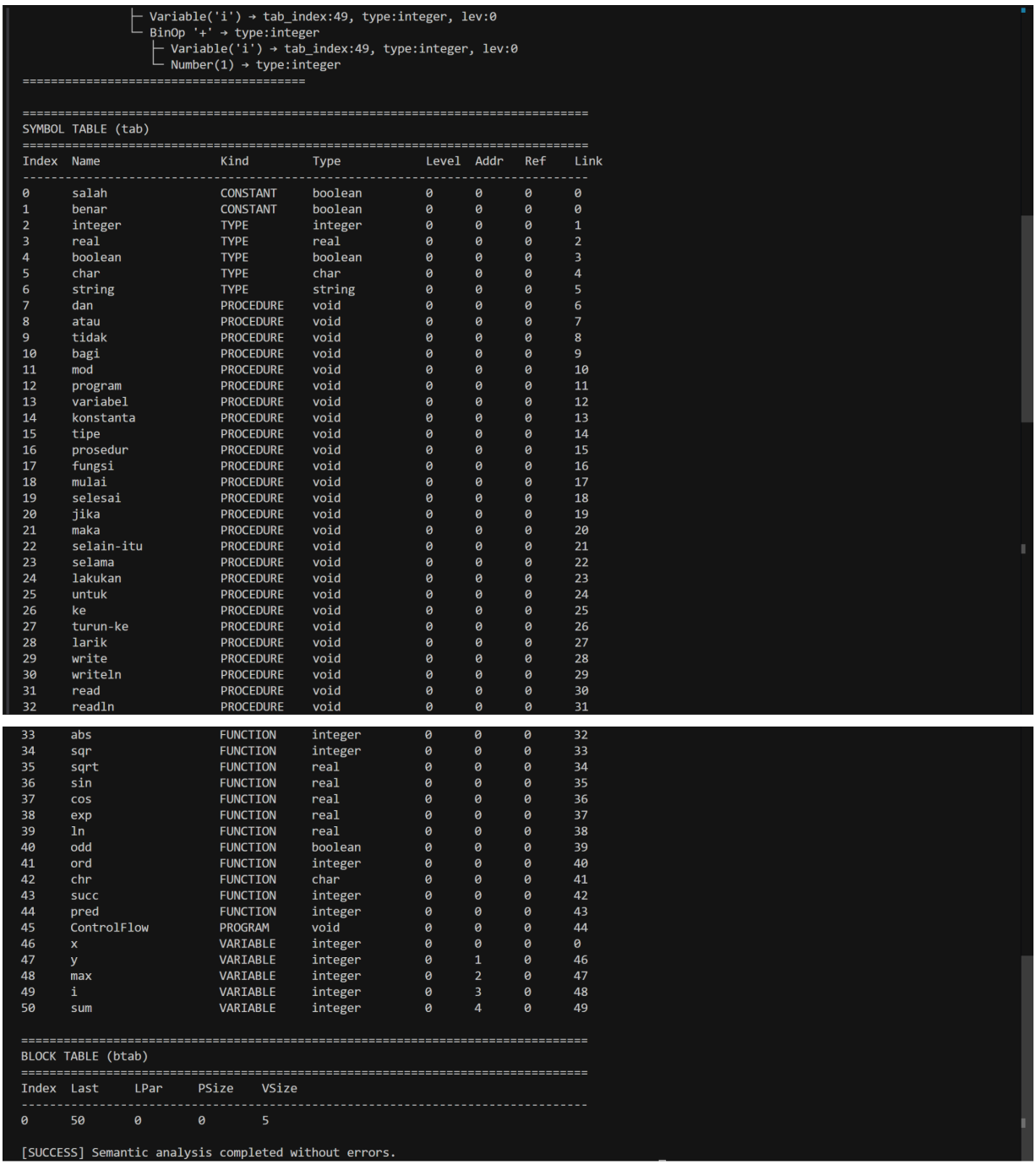
```
Decorated AST:
======================================
ProgramNode(name: 'ControlFlow')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ VarDecl('x','y','max') → tab_index:48, type:integer, lev:0
   │  └─ VarDecl('i','sum') → tab_index:50, type:integer, lev:0
   └─ CompoundStmt
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(10) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('y') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(20) → type:integer
      ├─ IfStmt
      │  ├─ BinOp '>' → type:boolean
      │  │  ├─ Variable('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │  │  └─ Variable('y') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │  ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  │  ├─ Variable('max') → tab_index:48, type:integer, lev:0
      │  │  └─ Variable('x') → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │  └─ Assign → type:void, lev:0
      │     ├─ Variable('max') → tab_index:48, type:integer, lev:0
      │     └─ Variable('y') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('sum') → tab_index:50, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(0) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('i') → tab_index:49, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(1) → type:integer
      └─ WhileStmt
         ├─ BinOp '<=' → type:boolean
         │  ├─ Variable('i') → tab_index:49, type:integer, lev:0
         │  └─ Number(10) → type:integer
         └─ CompoundStmt
```

```
            ├─ Assign → type:void, lev:0
            │  ├─ Variable('sum') → tab_index:50, type:integer, lev:0
            │  └─ BinOp '+' → type:integer
            │     ├─ Variable('sum') → tab_index:50, type:integer, lev:0
            │     └─ Variable('i') → tab_index:49, type:integer, lev:0
            └─ Assign → type:void, lev:0
               ├─ Variable('i') → tab_index:49, type:integer, lev:0
               └─ BinOp '+' → type:integer
                  ├─ Variable('i') → tab_index:49, type:integer, lev:0
                  └─ Number(1) → type:integer
========================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer              TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                 TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean              TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                 TYPE         char            0      0      0      4
6      string               TYPE         string          0      0      0      5
7      dan                  PROCEDURE    void            0      0      0      6
8      atau                 PROCEDURE    void            0      0      0      7
9      tidak                PROCEDURE    void            0      0      0      8
10     bagi                 PROCEDURE    void            0      0      0      9
11     mod                  PROCEDURE    void            0      0      0      10
12     program              PROCEDURE    void            0      0      0      11
13     variabel             PROCEDURE    void            0      0      0      12
14     konstanta            PROCEDURE    void            0      0      0      13
15     tipe                 PROCEDURE    void            0      0      0      14
16     prosedur             PROCEDURE    void            0      0      0      15
17     fungsi               PROCEDURE    void            0      0      0      16
18     mulai                PROCEDURE    void            0      0      0      17
19     selesai              PROCEDURE    void            0      0      0      18
20     jika                 PROCEDURE    void            0      0      0      19
21     maka                 PROCEDURE    void            0      0      0      20
22     selain-itu           PROCEDURE    void            0      0      0      21
23     selama               PROCEDURE    void            0      0      0      22
24     lakukan              PROCEDURE    void            0      0      0      23
25     untuk                PROCEDURE    void            0      0      0      24
26     ke                   PROCEDURE    void            0      0      0      25
27     turun-ke             PROCEDURE    void            0      0      0      26
28     larik                PROCEDURE    void            0      0      0      27
29     write                PROCEDURE    void            0      0      0      28
30     writeln              PROCEDURE    void            0      0      0      29
31     read                 PROCEDURE    void            0      0      0      30
32     readln               PROCEDURE    void            0      0      0      31
33     abs                  FUNCTION     integer         0      0      0      32
34     sqr                  FUNCTION     integer         0      0      0      33
35     sqrt                 FUNCTION     real            0      0      0      34
36     sin                  FUNCTION     real            0      0      0      35
37     cos                  FUNCTION     real            0      0      0      36
38     exp                  FUNCTION     real            0      0      0      37
39     ln                   FUNCTION     real            0      0      0      38
40     odd                  FUNCTION     boolean         0      0      0      39
41     ord                  FUNCTION     integer         0      0      0      40
42     chr                  FUNCTION     char            0      0      0      41
43     succ                 FUNCTION     integer         0      0      0      42
44     pred                 FUNCTION     integer         0      0      0      43
```

```
45      ControlFlow           PROGRAM      void            0       0       0       44
46      x                     VARIABLE     integer         0       0       0       0
47      y                     VARIABLE     integer         0       1       0       46
48      max                   VARIABLE     integer         0       2       0       47
49      i                     VARIABLE     integer         0       3       0       48
50      sum                   VARIABLE     integer         0       4       0       49

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index   Last      LPar      PSize     VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0       50        0         0         5

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Bukti dan Keterangan





```
                ├─ Variable('i') → tab_index:49, type:integer, lev:0
                └─ BinOp '+' → type:integer
                   ├─ Variable('i') → tab_index:49, type:integer, lev:0
                   └─ Number(1) → type:integer
========================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer              TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                 TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean              TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                 TYPE         char            0      0      0      4
6      string               TYPE         string          0      0      0      5
7      dan                  PROCEDURE    void            0      0      0      6
8      atau                 PROCEDURE    void            0      0      0      7
9      tidak                PROCEDURE    void            0      0      0      8
10     bagi                 PROCEDURE    void            0      0      0      9
11     mod                  PROCEDURE    void            0      0      0      10
12     program              PROCEDURE    void            0      0      0      11
13     variabel             PROCEDURE    void            0      0      0      12
14     konstanta            PROCEDURE    void            0      0      0      13
15     tipe                 PROCEDURE    void            0      0      0      14
16     prosedur             PROCEDURE    void            0      0      0      15
17     fungsi               PROCEDURE    void            0      0      0      16
18     mulai                PROCEDURE    void            0      0      0      17
19     selesai              PROCEDURE    void            0      0      0      18
20     jika                 PROCEDURE    void            0      0      0      19
21     maka                 PROCEDURE    void            0      0      0      20
22     selain-itu           PROCEDURE    void            0      0      0      21
23     selama               PROCEDURE    void            0      0      0      22
24     lakukan              PROCEDURE    void            0      0      0      23
25     untuk                PROCEDURE    void            0      0      0      24
26     ke                   PROCEDURE    void            0      0      0      25
27     turun-ke             PROCEDURE    void            0      0      0      26
28     larik                PROCEDURE    void            0      0      0      27
29     write                PROCEDURE    void            0      0      0      28
30     writeln              PROCEDURE    void            0      0      0      29
31     read                 PROCEDURE    void            0      0      0      30
32     readln               PROCEDURE    void            0      0      0      31
33     abs                  FUNCTION     integer         0      0      0      32
34     sqr                  FUNCTION     integer         0      0      0      33
35     sqrt                 FUNCTION     real            0      0      0      34
36     sin                  FUNCTION     real            0      0      0      35
37     cos                  FUNCTION     real            0      0      0      36
38     exp                  FUNCTION     real            0      0      0      37
39     ln                   FUNCTION     real            0      0      0      38
40     odd                  FUNCTION     boolean         0      0      0      39
41     ord                  FUNCTION     integer         0      0      0      40
42     chr                  FUNCTION     char            0      0      0      41
43     succ                 FUNCTION     integer         0      0      0      42
44     pred                 FUNCTION     integer         0      0      0      43
45     ControlFlow          PROGRAM      void            0      0      0      44
46     x                    VARIABLE     integer         0      0      0      0
47     y                    VARIABLE     integer         0      1      0      46
48     max                  VARIABLE     integer         0      2      0      47
49     i                    VARIABLE     integer         0      3      0      48
50     sum                  VARIABLE     integer         0      4      0      49

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index  Last     LPar     PSize    VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0      50       0        0        5

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Sukses menguji kemampuan semantic analyzer dalam menangani control flow program, hasil uji sudah benar.

Tabel XI. ErrorUndeclaredTest

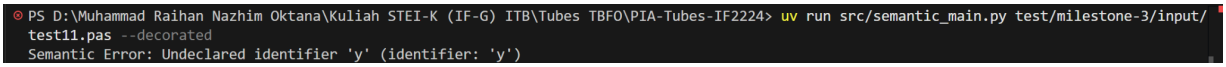
Input
`program ErrorUndeclared;` `variabel`

```
    x: integer;
mulai
    x := 10;
    y := 20
selesai.
```

Output

```
Semantic Error: Undeclared identifier 'y' (identifier: 'y')
```

Bukti dan Keterangan



Sukses menguji kemampuan semantic analyzer dalam menangani bentuk kesalahan semantic berupa variabel yang belum dideklarasi, hasil uji sudah benar.

TabelXII. ErrorTypeMismatchTest

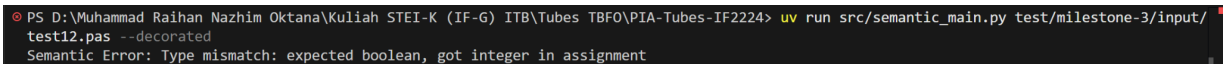
Input

```
program ErrorTypeMismatch;
variabel
    x: integer;
    flag: boolean;
mulai
    x := 10;
    flag := x
selesai.
```

Output

```
Semantic Error: Type mismatch: expected boolean, got integer in assignment
```

Bukti dan Keterangan



Sukses menguji kemampuan semantic analyzer dalam menangani bentuk kesalahan semantic berupa operasi assignment yang tidak sesuai antara tipe data variabel dengan valuenya, hasil uji sudah benar.

Tabel XIII. ErrorRedeclarationTest

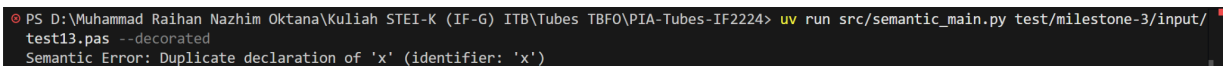
Input

```
program ErrorRedeclaration;
variabel
    x: integer;
    x: real;
mulai
    x := 10
selesai.
```

Output

```
Semantic Error: Duplicate declaration of 'x' (identifier: 'x')
```

Bukti dan Keterangan



Sukses menguji kemampuan semantic analyzer dalam menangani bentuk kesalahan semantic berupa variabel yang dilakukan deklarasi lebih dari sekali, hasil uji sudah benar.

Tabel XIV. MultidimArrayTest

Input

```
program MultidimArray;
variabel
    matrix: larik[1..3, 1..3] dari integer;
    i, j: integer;
mulai
    i := 1;
    j := 1;
    matrix[i, j] := 100;
    matrix[2, 3] := 200
selesai.
```

Output

```
Decorated AST:
========================================
ProgramNode(name: 'MultidimArray')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ VarDecl('matrix') → tab_index:46, type:array[2] of integer, lev:0
   │  └─ VarDecl('i','j') → tab_index:48, type:integer, lev:0
   └─ CompoundStmt
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('i') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(1) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('j') → tab_index:48, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(1) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ VarAccess('matrix'[]) → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │  │  ├─ Variable('i') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │  │  └─ Variable('j') → tab_index:48, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(100) → type:integer
      └─ Assign → type:void, lev:0
         ├─ VarAccess('matrix'[]) → tab_index:46, type:integer, lev:0
         │  ├─ Number(2) → type:integer
         │  └─ Number(3) → type:integer
         └─ Number(200) → type:integer
========================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
```

```
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
-------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer              TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                 TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean              TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                 TYPE         char            0      0      0      4
6      string               TYPE         string          0      0      0      5
7      dan                  PROCEDURE    void            0      0      0      6
8      atau                 PROCEDURE    void            0      0      0      7
9      tidak                PROCEDURE    void            0      0      0      8
10     bagi                 PROCEDURE    void            0      0      0      9
11     mod                  PROCEDURE    void            0      0      0      10
12     program              PROCEDURE    void            0      0      0      11
13     variabel             PROCEDURE    void            0      0      0      12
14     konstanta            PROCEDURE    void            0      0      0      13
15     tipe                 PROCEDURE    void            0      0      0      14
16     prosedur             PROCEDURE    void            0      0      0      15
17     fungsi               PROCEDURE    void            0      0      0      16
18     mulai                PROCEDURE    void            0      0      0      17
19     selesai              PROCEDURE    void            0      0      0      18
20     jika                 PROCEDURE    void            0      0      0      19
21     maka                 PROCEDURE    void            0      0      0      20
22     selain-itu           PROCEDURE    void            0      0      0      21
23     selama               PROCEDURE    void            0      0      0      22
24     lakukan              PROCEDURE    void            0      0      0      23
25     untuk                PROCEDURE    void            0      0      0      24
26     ke                   PROCEDURE    void            0      0      0      25
27     turun-ke             PROCEDURE    void            0      0      0      26
28     larik                PROCEDURE    void            0      0      0      27
29     write                PROCEDURE    void            0      0      0      28
30     writeln              PROCEDURE    void            0      0      0      29
31     read                 PROCEDURE    void            0      0      0      30
32     readln               PROCEDURE    void            0      0      0      31
33     abs                  FUNCTION     integer         0      0      0      32
34     sqr                  FUNCTION     integer         0      0      0      33
35     sqrt                 FUNCTION     real            0      0      0      34
36     sin                  FUNCTION     real            0      0      0      35
37     cos                  FUNCTION     real            0      0      0      36
38     exp                  FUNCTION     real            0      0      0      37
39     ln                   FUNCTION     real            0      0      0      38
40     odd                  FUNCTION     boolean         0      0      0      39
41     ord                  FUNCTION     integer         0      0      0      40
42     chr                  FUNCTION     char            0      0      0      41
43     succ                 FUNCTION     integer         0      0      0      42
44     pred                 FUNCTION     integer         0      0      0      43
45     MultidimArray        PROGRAM      void            0      0      0      44
46     matrix               VARIABLE     array[2] of integer 0      0      1      0
47     i                    VARIABLE     integer         0      1      0      46
48     j                    VARIABLE     integer         0      2      0      47

================================================================================
====
ARRAY TABLE (atab)
================================================================================
====
Index  IdxType      ElemType             Low      High     ElemSz   Size
-------------------------------------------------------------------------------
----
0      integer      integer              1        3        1        3
1      integer      array of integer     1        3        3        9
```

```
================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index   Last      LPar      PSize     VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0       48        0         0         3

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Bukti dan Keterangan

```
PS D:\Muhammad Raihan Nazhim Oktana\Kuliah STEI-K (IF-G) ITB\Tubes TBFO\PIA-Tubes-IF2224> uv run src/semantic_main.py test/milestone-3/input/
test14.pas --decorated

Decorated AST:
======================================
ProgramNode(name: 'MultidimArray')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ VarDecl('matrix') → tab_index:46, type:array[2] of integer, lev:0
   │  └─ VarDecl('i','j') → tab_index:48, type:integer, lev:0
   └─ CompoundStmt
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('i') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(1) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ Variable('j') → tab_index:48, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(1) → type:integer
      ├─ Assign → type:void, lev:0
      │  ├─ VarAccess('matrix'[]) → tab_index:46, type:integer, lev:0
      │  │  ├─ Variable('i') → tab_index:47, type:integer, lev:0
      │  │  └─ Variable('j') → tab_index:48, type:integer, lev:0
      │  └─ Number(100) → type:integer
      └─ Assign → type:void, lev:0
         ├─ VarAccess('matrix'[]) → tab_index:46, type:integer, lev:0
         │  ├─ Number(2) → type:integer
         │  └─ Number(3) → type:integer
         └─ Number(200) → type:integer
======================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah               CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar               CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer             TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean             TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                TYPE         char            0      0      0      4
6      string              TYPE         string          0      0      0      5
7      dan                 PROCEDURE    void            0      0      0      6
8      atau                PROCEDURE    void            0      0      0      7
9      tidak               PROCEDURE    void            0      0      0      8
```

```
10    bagi              PROCEDURE   void           0     0     0     9
11    mod               PROCEDURE   void           0     0     0     10
12    program           PROCEDURE   void           0     0     0     11
13    variabel          PROCEDURE   void           0     0     0     12
14    konstanta         PROCEDURE   void           0     0     0     13
15    tipe              PROCEDURE   void           0     0     0     14
16    prosedur          PROCEDURE   void           0     0     0     15
17    fungsi            PROCEDURE   void           0     0     0     16
18    mulai             PROCEDURE   void           0     0     0     17
19    selesai           PROCEDURE   void           0     0     0     18
20    jika              PROCEDURE   void           0     0     0     19
21    maka              PROCEDURE   void           0     0     0     20
22    selain-itu        PROCEDURE   void           0     0     0     21
23    selama            PROCEDURE   void           0     0     0     22
24    lakukan           PROCEDURE   void           0     0     0     23
25    untuk             PROCEDURE   void           0     0     0     24
26    ke                PROCEDURE   void           0     0     0     25
27    turun-ke          PROCEDURE   void           0     0     0     26
28    larik             PROCEDURE   void           0     0     0     27
29    write             PROCEDURE   void           0     0     0     28
30    writeln           PROCEDURE   void           0     0     0     29
31    read              PROCEDURE   void           0     0     0     30
32    readln            PROCEDURE   void           0     0     0     31
33    abs               FUNCTION    integer        0     0     0     32
34    sqr               FUNCTION    integer        0     0     0     33
35    sqrt              FUNCTION    real           0     0     0     34
36    sin               FUNCTION    real           0     0     0     35
37    cos               FUNCTION    real           0     0     0     36
38    exp               FUNCTION    real           0     0     0     37
39    ln                FUNCTION    real           0     0     0     38
40    odd               FUNCTION    boolean        0     0     0     39
41    ord               FUNCTION    integer        0     0     0     40
42    chr               FUNCTION    char           0     0     0     41
43    succ              FUNCTION    integer        0     0     0     42
44    pred              FUNCTION    integer        0     0     0     43
45    MultidimArray     PROGRAM     void           0     0     0     44
46    matrix            VARIABLE    array[2] of integer 0     0     1     0
47    i                 VARIABLE    integer        0     1     0     46
48    j                 VARIABLE    integer        0     2     0     47
```

```
================================================================================
ARRAY TABLE (atab)
================================================================================
Index  IdxType      ElemType            Low      High     ElemSz   Size
--------------------------------------------------------------------------------
0      integer      integer             1        3        1        3
1      integer      array of integer    1        3        3        9

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index  Last     LPar     PSize    VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0      48       0        0        3

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Sukses menguji kemampuan semantic analyzer dalam menangani tipe data multidimensional array (matrix), hasil uji sudah benar.

Tabel XV. ComprehensiveTest

Input

`program Comprehensive;`
`tipe`
`    Student = rekaman`
`        id: integer;`
`        name: larik[1..50] dari char;`
`        gpa: real;`
`    selesai;`
`variabel`
`    students: larik[1..100] dari Student;`
`    count: integer;`
`    avg_gpa: real;`

```
prosedur InitStudent(s: Student; student_id: integer);
mulai
    s.id := student_id;
    s.gpa := 0.0
selesai;

fungsi CalculateAverage(n: integer): real;
variabel
    i: integer;
    total: real;
mulai
    total := 0.0;
    i := 1;
    selama i <= n lakukan
    mulai
        total := total + students[i].gpa;
        i := i + 1
    selesai;
    CalculateAverage := total / n
selesai;

mulai
    count := 3;
    InitStudent(students[1], 1001);
    students[1].gpa := 3.5;
    InitStudent(students[2], 1002);
    students[2].gpa := 3.8;
    InitStudent(students[3], 1003);
    students[3].gpa := 3.2;
    avg_gpa := CalculateAverage(count)
selesai.
```

Output

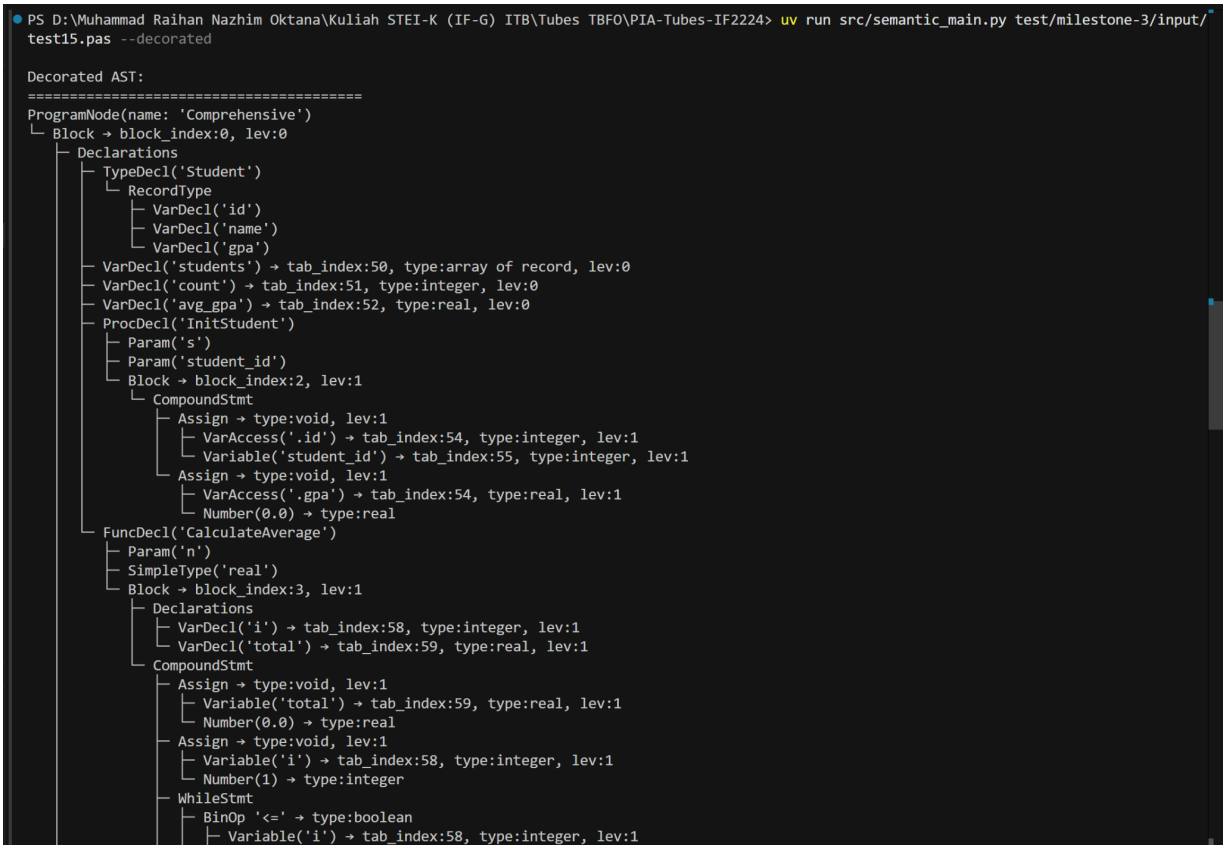
```
Decorated AST:
======================================
ProgramNode(name: 'Comprehensive')
└─ Block → block_index:0, lev:0
   ├─ Declarations
   │  ├─ TypeDecl('Student')
   │  │  └─ RecordType
   │  │     ├─ VarDecl('id')
   │  │     ├─ VarDecl('name')
   │  │     └─ VarDecl('gpa')
   │  ├─ VarDecl('students') → tab_index:50, type:array of record, lev:0
   │  ├─ VarDecl('count') → tab_index:51, type:integer, lev:0
   │  ├─ VarDecl('avg_gpa') → tab_index:52, type:real, lev:0
   │  ├─ ProcDecl('InitStudent')
   │  │  ├─ Param('s')
   │  │  ├─ Param('student_id')
   │  │  └─ Block → block_index:2, lev:1
   │  │     └─ CompoundStmt
   │  │        ├─ Assign → type:void, lev:1
   │  │        │  ├─ VarAccess('.id') → tab_index:54, type:integer, lev:1
   │  │        │  └─ Variable('student_id') → tab_index:55, type:integer, lev:1
   │  │        └─ Assign → type:void, lev:1
   │  │           ├─ VarAccess('.gpa') → tab_index:54, type:real, lev:1
   │  │           └─ Number(0.0) → type:real
   │  └─ FuncDecl('CalculateAverage')
   │     ├─ Param('n')
   │     ├─ SimpleType('real')
```

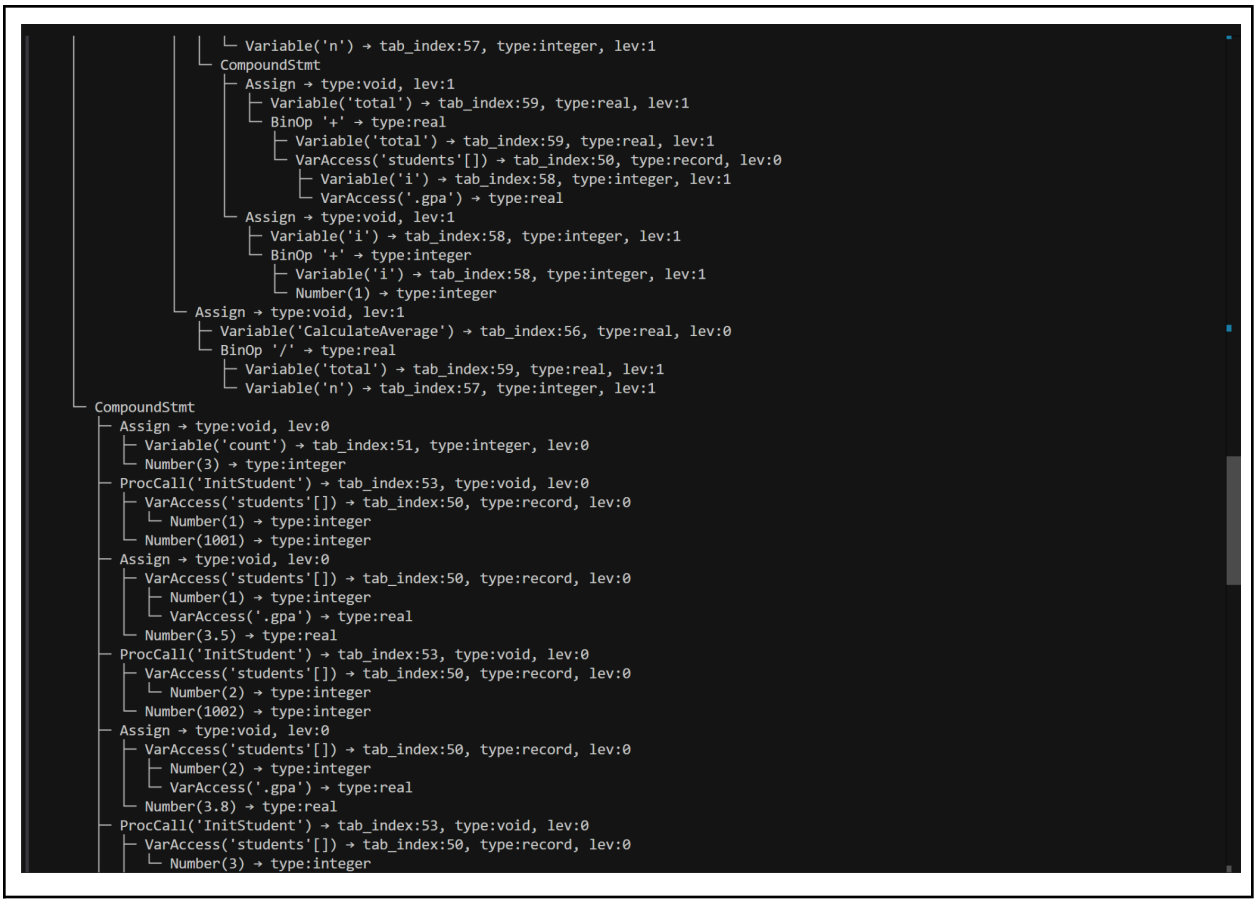
```
    │       └─ Block → block_index:3, lev:1
    │          ├─ Declarations
    │          │  ├─ VarDecl('i') → tab_index:58, type:integer, lev:1
    │          │  └─ VarDecl('total') → tab_index:59, type:real, lev:1
    │          └─ CompoundStmt
    │             ├─ Assign → type:void, lev:1
    │             │  ├─ Variable('total') → tab_index:59, type:real, lev:1
    │             │  └─ Number(0.0) → type:real
    │             ├─ Assign → type:void, lev:1
    │             │  ├─ Variable('i') → tab_index:58, type:integer, lev:1
    │             │  └─ Number(1) → type:integer
    │             ├─ WhileStmt
    │             │  ├─ BinOp '<=' → type:boolean
    │             │  │  ├─ Variable('i') → tab_index:58, type:integer, lev:1
    │             │  │  └─ Variable('n') → tab_index:57, type:integer, lev:1
    │             │  └─ CompoundStmt
    │             │     ├─ Assign → type:void, lev:1
    │             │     │  ├─ Variable('total') → tab_index:59, type:real, lev:1
    │             │     │  └─ BinOp '+' → type:real
    │             │     │     ├─ Variable('total') → tab_index:59, type:real, lev:1
    │             │     │     └─ VarAccess('students'[]) → tab_index:50, type:record, lev:0
    │             │     │        ├─ Variable('i') → tab_index:58, type:integer, lev:1
    │             │     │        └─ VarAccess('.gpa') → type:real
    │             │     └─ Assign → type:void, lev:1
    │             │        ├─ Variable('i') → tab_index:58, type:integer, lev:1
    │             │        └─ BinOp '+' → type:integer
    │             │           ├─ Variable('i') → tab_index:58, type:integer, lev:1
    │             │           └─ Number(1) → type:integer
    │             └─ Assign → type:void, lev:1
    │                ├─ Variable('CalculateAverage') → tab_index:56, type:real, lev:0
    │                └─ BinOp '/' → type:real
    │                   ├─ Variable('total') → tab_index:59, type:real, lev:1
    │                   └─ Variable('n') → tab_index:57, type:integer, lev:1
    └─ CompoundStmt
       ├─ Assign → type:void, lev:0
       │  ├─ Variable('count') → tab_index:51, type:integer, lev:0
       │  └─ Number(3) → type:integer
       ├─ ProcCall('InitStudent') → tab_index:53, type:void, lev:0
       │  ├─ VarAccess('students'[]) → tab_index:50, type:record, lev:0
       │  │  └─ Number(1) → type:integer
       │  └─ Number(1001) → type:integer
       ├─ Assign → type:void, lev:0
       │  ├─ VarAccess('students'[]) → tab_index:50, type:record, lev:0
       │  │  ├─ Number(1) → type:integer
       │  │  └─ VarAccess('.gpa') → type:real
       │  └─ Number(3.5) → type:real
       ├─ ProcCall('InitStudent') → tab_index:53, type:void, lev:0
       │  ├─ VarAccess('students'[]) → tab_index:50, type:record, lev:0
       │  │  └─ Number(2) → type:integer
       │  └─ Number(1002) → type:integer
       ├─ Assign → type:void, lev:0
       │  ├─ VarAccess('students'[]) → tab_index:50, type:record, lev:0
       │  │  ├─ Number(2) → type:integer
       │  │  └─ VarAccess('.gpa') → type:real
       │  └─ Number(3.8) → type:real
       ├─ ProcCall('InitStudent') → tab_index:53, type:void, lev:0
       │  ├─ VarAccess('students'[]) → tab_index:50, type:record, lev:0
       │  │  └─ Number(3) → type:integer
       │  └─ Number(1003) → type:integer
       ├─ Assign → type:void, lev:0
       │  ├─ VarAccess('students'[]) → tab_index:50, type:record, lev:0
       │  │  ├─ Number(3) → type:integer
       │  │  └─ VarAccess('.gpa') → type:real
       │  └─ Number(3.2) → type:real
       └─ Assign → type:void, lev:0
          ├─ Variable('avg_gpa') → tab_index:52, type:real, lev:0
          └─ FuncCall('CalculateAverage')
             └─ Variable('count') → tab_index:51, type:integer, lev:0
========================================
```

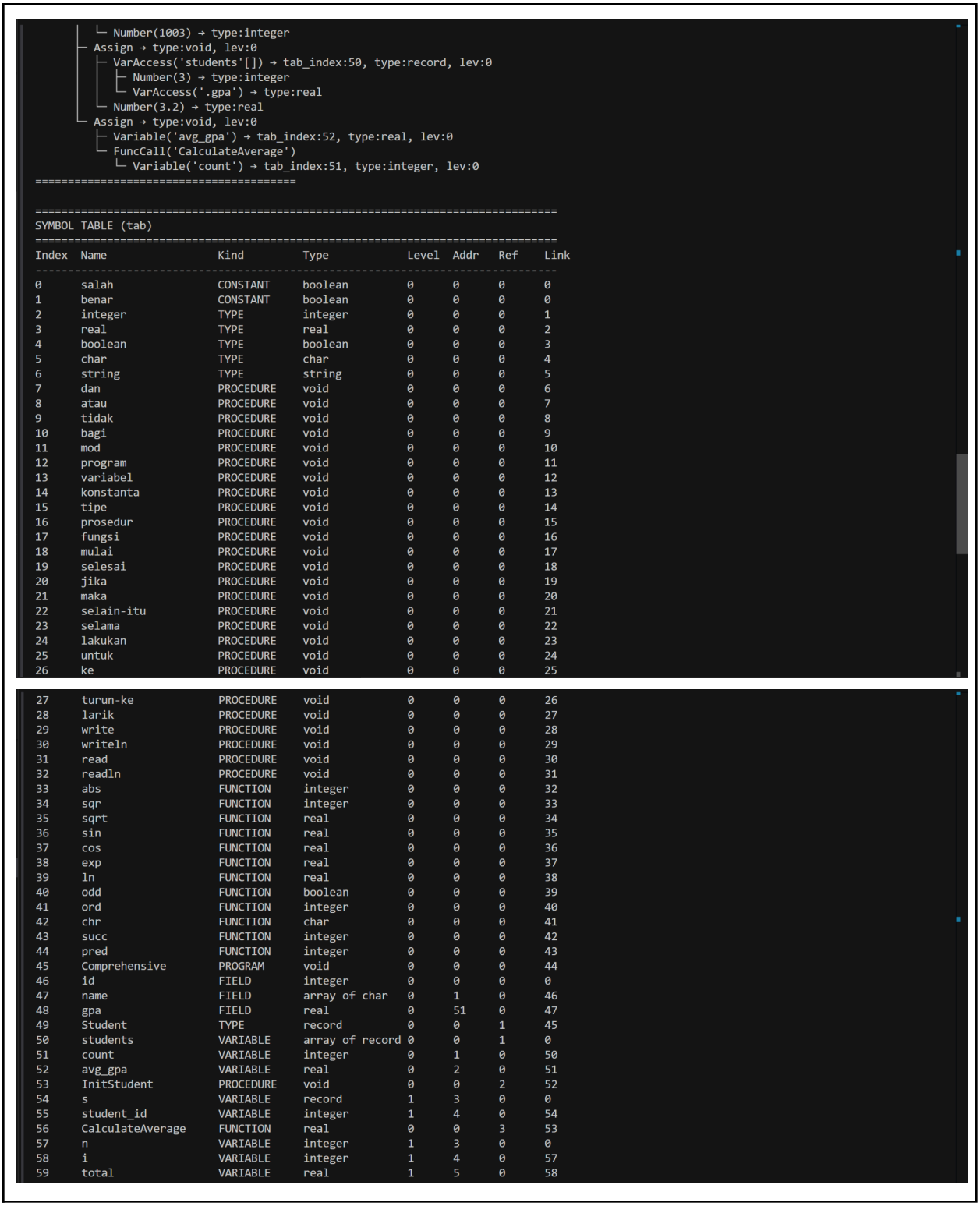
```
================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer              TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                 TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean              TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                 TYPE         char            0      0      0      4
6      string               TYPE         string          0      0      0      5
7      dan                  PROCEDURE    void            0      0      0      6
8      atau                 PROCEDURE    void            0      0      0      7
9      tidak                PROCEDURE    void            0      0      0      8
10     bagi                 PROCEDURE    void            0      0      0      9
11     mod                  PROCEDURE    void            0      0      0      10
12     program              PROCEDURE    void            0      0      0      11
13     variabel             PROCEDURE    void            0      0      0      12
14     konstanta            PROCEDURE    void            0      0      0      13
15     tipe                 PROCEDURE    void            0      0      0      14
16     prosedur             PROCEDURE    void            0      0      0      15
17     fungsi               PROCEDURE    void            0      0      0      16
18     mulai                PROCEDURE    void            0      0      0      17
19     selesai              PROCEDURE    void            0      0      0      18
20     jika                 PROCEDURE    void            0      0      0      19
21     maka                 PROCEDURE    void            0      0      0      20
22     selain-itu           PROCEDURE    void            0      0      0      21
23     selama               PROCEDURE    void            0      0      0      22
24     lakukan              PROCEDURE    void            0      0      0      23
25     untuk                PROCEDURE    void            0      0      0      24
26     ke                   PROCEDURE    void            0      0      0      25
27     turun-ke             PROCEDURE    void            0      0      0      26
28     larik                PROCEDURE    void            0      0      0      27
29     write                PROCEDURE    void            0      0      0      28
30     writeln              PROCEDURE    void            0      0      0      29
31     read                 PROCEDURE    void            0      0      0      30
32     readln               PROCEDURE    void            0      0      0      31
33     abs                  FUNCTION     integer         0      0      0      32
34     sqr                  FUNCTION     integer         0      0      0      33
35     sqrt                 FUNCTION     real            0      0      0      34
36     sin                  FUNCTION     real            0      0      0      35
37     cos                  FUNCTION     real            0      0      0      36
38     exp                  FUNCTION     real            0      0      0      37
39     ln                   FUNCTION     real            0      0      0      38
40     odd                  FUNCTION     boolean         0      0      0      39
41     ord                  FUNCTION     integer         0      0      0      40
42     chr                  FUNCTION     char            0      0      0      41
43     succ                 FUNCTION     integer         0      0      0      42
44     pred                 FUNCTION     integer         0      0      0      43
45     Comprehensive        PROGRAM      void            0      0      0      44
46     id                   FIELD        integer         0      0      0      0
47     name                 FIELD        array of char   0      1      0      46
48     gpa                  FIELD        real            0      51     0      47
49     Student              TYPE         record          0      0      1      45
50     students             VARIABLE     array of record 0      0      1      0
51     count                VARIABLE     integer         0      1      0      50
52     avg_gpa              VARIABLE     real            0      2      0      51
53     InitStudent          PROCEDURE    void            0      0      2      52
54     s                    VARIABLE     record          1      3      0      0
55     student_id           VARIABLE     integer         1      4      0      54
56     CalculateAverage     FUNCTION     real            0      0      3      53
57     n                    VARIABLE     integer         1      3      0      0
58     i                    VARIABLE     integer         1      4      0      57
59     total                VARIABLE     real            1      5      0      58

================================================================================================
ARRAY TABLE (atab)
================================================================================================
Index  IdxType      ElemType             Low      High     ElemSz   Size
```

```
-------------------------------------------------------------------------------------------
0       integer       char                  1         50        1         50
1       integer       record                1         100       52        5200

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index   Last      LPar      PSize     VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0       56        0         0         3
1       48        0         0         0
2       55        0         0         2
3       59        0         0         3

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

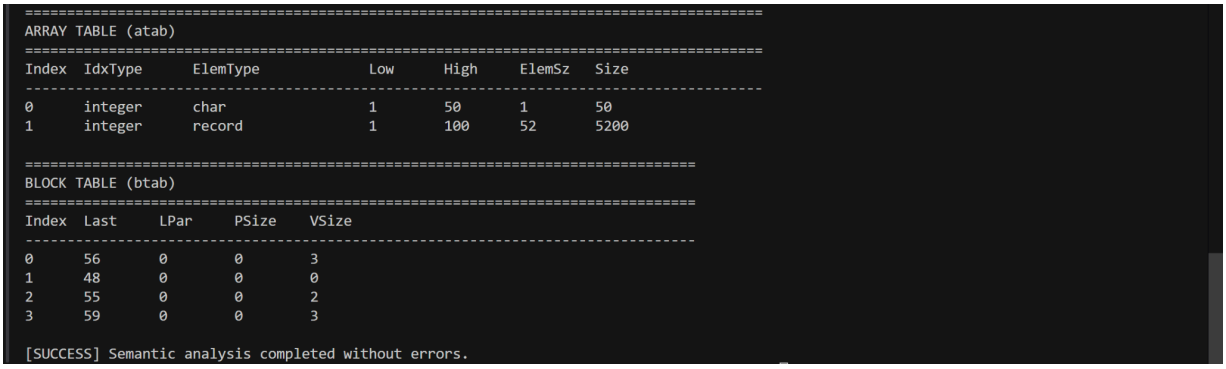
Bukti dan Keterangan




└ Variable('n') → tab_index:57, type:integer, lev:1
└ CompoundStmt
├ Assign → type:void, lev:1
├ Variable('total') → tab_index:59, type:real, lev:1
└ BinOp '+' → type:real
├ Variable('total') → tab_index:59, type:real, lev:1
└ VarAccess('students'[]) → tab_index:50, type:record, lev:0
├ Variable('i') → tab_index:58, type:integer, lev:1
└ VarAccess('.gpa') → type:real
└ Assign → type:void, lev:1
├ Variable('i') → tab_index:58, type:integer, lev:1
└ BinOp '+' → type:integer
├ Variable('i') → tab_index:58, type:integer, lev:1
└ Number(1) → type:integer
└ Assign → type:void, lev:1
├ Variable('CalculateAverage') → tab_index:56, type:real, lev:0
└ BinOp '/' → type:real
├ Variable('total') → tab_index:59, type:real, lev:1
└ Variable('n') → tab_index:57, type:integer, lev:1
└ CompoundStmt
├ Assign → type:void, lev:0
├ Variable('count') → tab_index:51, type:integer, lev:0
└ Number(3) → type:integer
├ ProcCall('InitStudent') → tab_index:53, type:void, lev:0
├ VarAccess('students'[]) → tab_index:50, type:record, lev:0
└ Number(1) → type:integer
└ Number(1001) → type:integer
├ Assign → type:void, lev:0
├ VarAccess('students'[]) → tab_index:50, type:record, lev:0
├ Number(1) → type:integer
└ VarAccess('.gpa') → type:real
└ Number(3.5) → type:real
├ ProcCall('InitStudent') → tab_index:53, type:void, lev:0
├ VarAccess('students'[]) → tab_index:50, type:record, lev:0
└ Number(2) → type:integer
└ Number(1002) → type:integer
├ Assign → type:void, lev:0
├ VarAccess('students'[]) → tab_index:50, type:record, lev:0
├ Number(2) → type:integer
└ VarAccess('.gpa') → type:real
└ Number(3.8) → type:real
├ ProcCall('InitStudent') → tab_index:53, type:void, lev:0
├ VarAccess('students'[]) → tab_index:50, type:record, lev:0
└ Number(3) → type:integer



```
        │  └─ Number(1003) → type:integer
        ├─ Assign → type:void, lev:0
        │  ├─ VarAccess('students'[]) → tab_index:50, type:record, lev:0
        │  │  ├─ Number(3) → type:integer
        │  │  └─ VarAccess('.gpa') → type:real
        │  └─ Number(3.2) → type:real
        └─ Assign → type:void, lev:0
           ├─ Variable('avg_gpa') → tab_index:52, type:real, lev:0
           └─ FuncCall('CalculateAverage')
              └─ Variable('count') → tab_index:51, type:integer, lev:0
======================================

================================================================================
SYMBOL TABLE (tab)
================================================================================
Index  Name                 Kind         Type            Level  Addr   Ref    Link
--------------------------------------------------------------------------------
0      salah                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
1      benar                CONSTANT     boolean         0      0      0      0
2      integer              TYPE         integer         0      0      0      1
3      real                 TYPE         real            0      0      0      2
4      boolean              TYPE         boolean         0      0      0      3
5      char                 TYPE         char            0      0      0      4
6      string               TYPE         string          0      0      0      5
7      dan                  PROCEDURE    void            0      0      0      6
8      atau                 PROCEDURE    void            0      0      0      7
9      tidak                PROCEDURE    void            0      0      0      8
10     bagi                 PROCEDURE    void            0      0      0      9
11     mod                  PROCEDURE    void            0      0      0      10
12     program              PROCEDURE    void            0      0      0      11
13     variabel             PROCEDURE    void            0      0      0      12
14     konstanta            PROCEDURE    void            0      0      0      13
15     tipe                 PROCEDURE    void            0      0      0      14
16     prosedur             PROCEDURE    void            0      0      0      15
17     fungsi               PROCEDURE    void            0      0      0      16
18     mulai                PROCEDURE    void            0      0      0      17
19     selesai              PROCEDURE    void            0      0      0      18
20     jika                 PROCEDURE    void            0      0      0      19
21     maka                 PROCEDURE    void            0      0      0      20
22     selain-itu           PROCEDURE    void            0      0      0      21
23     selama               PROCEDURE    void            0      0      0      22
24     lakukan              PROCEDURE    void            0      0      0      23
25     untuk                PROCEDURE    void            0      0      0      24
26     ke                   PROCEDURE    void            0      0      0      25
27     turun-ke             PROCEDURE    void            0      0      0      26
28     larik                PROCEDURE    void            0      0      0      27
29     write                PROCEDURE    void            0      0      0      28
30     writeln              PROCEDURE    void            0      0      0      29
31     read                 PROCEDURE    void            0      0      0      30
32     readln               PROCEDURE    void            0      0      0      31
33     abs                  FUNCTION     integer         0      0      0      32
34     sqr                  FUNCTION     integer         0      0      0      33
35     sqrt                 FUNCTION     real            0      0      0      34
36     sin                  FUNCTION     real            0      0      0      35
37     cos                  FUNCTION     real            0      0      0      36
38     exp                  FUNCTION     real            0      0      0      37
39     ln                   FUNCTION     real            0      0      0      38
40     odd                  FUNCTION     boolean         0      0      0      39
41     ord                  FUNCTION     integer         0      0      0      40
42     chr                  FUNCTION     char            0      0      0      41
43     succ                 FUNCTION     integer         0      0      0      42
44     pred                 FUNCTION     integer         0      0      0      43
45     Comprehensive        PROGRAM      void            0      0      0      44
46     id                   FIELD        integer         0      0      0      0
47     name                 FIELD        array of char   0      1      0      46
48     gpa                  FIELD        real            0      51     0      47
49     Student              TYPE         record          0      0      1      45
50     students             VARIABLE     array of record 0      0      1      0
51     count                VARIABLE     integer         0      1      0      50
52     avg_gpa              VARIABLE     real            0      2      0      51
53     InitStudent          PROCEDURE    void            0      0      2      52
54     s                    VARIABLE     record          1      3      0      0
55     student_id           VARIABLE     integer         1      4      0      54
56     CalculateAverage     FUNCTION     real            0      0      3      53
57     n                    VARIABLE     integer         1      3      0      0
58     i                    VARIABLE     integer         1      4      0      57
59     total                VARIABLE     real            1      5      0      58
```



```
================================================================================
ARRAY TABLE (atab)
================================================================================
Index  IdxType      ElemType             Low      High     ElemSz   Size
--------------------------------------------------------------------------------
0      integer      char                 1        50       1        50
1      integer      record               1        100      52       5200

================================================================================
BLOCK TABLE (btab)
================================================================================
Index  Last     LPar     PSize    VSize
--------------------------------------------------------------------------------
0      56       0        0        3
1      48       0        0        0
2      55       0        0        2
3      59       0        0        3

[SUCCESS] Semantic analysis completed without errors.
```

Sukses menguji kemampuan semantic analyzer dalam menangani program yang komprehensif, hasil uji sudah benar.

BAB V: Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Tugas Besar Teori Bahasa Formal dan Otomata (IF2224-24) Milestone 3 ini berhasil mengimplementasikan tahap ketiga dari proses kompilasi, yaitu semantic analysis untuk bahasa Pascal-S yang telah dimodifikasi. Pada tahap ini, sistem tidak hanya mampu membangun Abstract Syntax Tree (AST) dari hasil parsing, tetapi juga melengkapi pohon sintaks tersebut dengan anotasi semantik yang akurat—meliputi tipe ekspresi, referensi simbol, serta informasi skope yang sesuai dengan prinsip static scoping.

Implementasi semantic visitor memungkinkan traversal terstruktur pada AST tanpa memerlukan modifikasi arsitektur internal node, sehingga logika pemeriksaan tipe, validasi deklarasi, pengecekan skope, serta penanganan parameter prosedur dapat dilakukan secara modular dan sistematis. Selain itu, perancangan symbol table yang terdiri dari tab, btab, dan atab sesuai model Pascal-S memastikan bahwa seluruh entitas program, mulai dari variabel, konstanta, hingga tipe komposit, dapat direpresentasikan dan diakses secara deterministik.

Dengan keberhasilan tahap ini, sistem kompilator telah mencapai kemampuan untuk memverifikasi program Pascal-S secara semantik, mendeteksi kesalahan seperti type mismatch, deklarasi ganda, hingga penggunaan identifier yang belum dideklarasikan. Milestone 3 menjadi tonggak penting karena menutup seluruh fase analisis dalam pipeline kompilasi—mulai dari lexical analysis, syntactic analysis, hingga semantic analysis—serta menyediakan fondasi yang solid bagi tahap berikutnya, yaitu intermediate code generation dan optimisasi.

5.2 Saran

Untuk pengembangan di milestone berikutnya, disarankan agar semantic analyzer diperluas dengan cakupan pemeriksaan yang lebih komprehensif, terutama untuk struktur kompleks seperti array multidimensi, record bersarang, dan parameter prosedur dengan mekanisme

by-reference. Selain itu, integrasi antara decorated AST dan generator kode juga perlu diperdalam agar informasi semantik yang telah dihimpun dapat dimanfaatkan secara optimal dalam proses produksi kode.

Ditinjau dari aspek keandalan, pengujian tambahan dengan kasus-kasus ekstrem seperti blok deeply nested, ekspresi campuran yang kompleks, dan pemanggilan prosedur rekursif sangat direkomendasikan untuk memastikan bahwa mekanisme scoping dan type checking bekerja konsisten pada seluruh kondisi. Terakhir, peningkatan pada sistem pelaporan kesalahan—misalnya dengan menyediakan konteks lokasi kesalahan dan penjelasan yang lebih ramah pengguna—akan sangat membantu proses debugging dan memperkaya pengalaman penggunaan kompilator.

Lampiran

Pranala Repositori Github: https://github.com/fathurwithyou/PIA-Tubes-IF2224
Pranala Workspace Diagram:
https://drive.google.com/file/d/1czvTxZ2tvb7p6O_OSooQtYlc81k2ghwc/view
Tabel Pembagian Tugas:

NIM	Nama Lengkap	Persentase Pembagian Tugas
13523021	Muhammad Raihan Nazhim Oktana	100%
13523057	Faqih Muhammad Syuhada	100%
13523097	Shanice Feodora Tjahjono	100%
13523105	Muhammad Fathur Rizky	100%

Daftar Pustaka

[1] A. Aho, M. Lam, R. Sethi, and J. Ullman, *Compilers: Principles, Techniques, and Tools*, 2nd ed. Boston, MA: Addison-Wesley, 2007.

[2] D. E. Knuth, “Semantics of Context-Free Languages,” *Mathematical Systems Theory*, vol. 2, no. 2, pp. 127–145, 1968.

[3] N. Wirth, *Pascal-S: A Subset and Its Implementation*. Zürich: Institut für Informatik ETH, 1974. [Online].

[4] R. Spivak, “Let’s Build A Simple Interpreter (Part 7): Abstract Syntax Trees,” 2015. [Online]. Available: https://ruslanspivak.com/lsbasi-part7/

[5] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, and J. Vlissides, *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Boston, MA: Addison-Wesley, 1994.

[6] University of Liège, “Semantic Analysis — Compilation Course Notes,” 2015. [Online]. Available: https://people.montefiore.uliege.be/geurts/Cours/compil/2015/04-semantic-2015-2016.pdf

[7] H. H. Otten, “Pascal for Small Machines,” 2010. [Online]. Available: http://pascal.hansotten.com/niklaus-wirth/pascal-s/

[8] TextX Project, “Example of Parse Trees using Arpeggio Parser Generator,” 2020. [Online]. Available: https://textx.github.io/Arpeggio/latest/images/calc_parse_tree.dot.png