

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua
Sidang Akademik 1991/92

April 1992

CST 202 - Kejuruteraan Sofwer

Masa: [3 jam]

ARAHAN KEPADA CALON:

- Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **DUAPULUH** muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.
 - Jawab **SEMUA** soalan.
 - Semua soalan mesti dijawab dalam Bahasa Malaysia.
-

1. a. Katakan hanya pengoperasi aritmetik $-$, $=$ dan \geq sudah tertakrif.
- (i) Berikan takrif tersirat suatu fungsi "tolak" yang mengirakan hasil tolak dua nombor asli yang diberikan sebagai hujah dan mengoutputkan nombor asli juga.
 - (ii) Dengan menggunakan fungsi "tolak", berikan pula takrif tersirat fungsi "campur" yang mengirakan hasil tambah dua nombor asli.
 - (iii) Seterusnya, berikan takrif langsung bagi fungsi "darab" dengan menggunakan fungsi "campur" dan "tolak"; fungsi ini mengirakan hasil darab dua nombor asli.
 - (iv) Dengan menggunakan fungsi-fungsi di atas, berikan spesifikasi suatu operasi "KIRA" yang menerima dua nombor asli sebagai hujah dan berupaya merujuk kepada dua pembolehubah luar nombor integer. Apabila dilaksanakan, operasi ini mengirakan hasil tambah pembolehubah-pembolehubah luar dan hujah-hujahnya, dengan hasil pengiraan ini disimpan di dalam kedua-dua pembolehubah luar yang disebutkan serta dikeluarkan sebagai output.
 - (v) Sekiranya output fungsi "campur" dan operasi "KIRA" dipaparkan pada skrin, berikan paparan bagi program berikut buat pertama kali ia dilaksanakan:

```
begin campur(2,3); KIRA(2,3); campur(2,3); KIRA(2,3) end
```

- (vi) Pertimbangkan spesifikasi berikut dan nyatakan perkara-perkara yang tidak betul dengannya:

```
spec( x: |N, y: |N ) r: |N, s: |N
pra  x ≥ y ∧ campur(x,y) ∧ r ≥ s
post r = tolak(y, campur(x,y)) ∧ s = KIRA(x,y)
```

[40/100]

- b. Diberi takrif tersirat berikut:

```
fungsi( x: |N, y: |N ) r: Z
post  r = x2 - y2
```

- (i) Buktikan bahawa ia dipenuhi oleh takrif langsung berikut:

```
fungsi: |N x |N --> Z
fungsi(x,y) Δ (x-y)(x+y)
```

- (ii) Sekiranya takrif langsung di atas digantikan dengan yang berikut, cuba dirikan bukti lengkap yang sewajarnya dan nyatakan baris-baris manakah yang tidak dapat diperolehi:

```
fungsi(x,y) Δ if x ≥ y then (x-y)(x+y) else (y-x)(x+y)
```

[30/100]

- c. (i) Berikan takrif tersirat suatu fungsi "integer" yang menghasilkan nilai integer terbesar yang tidak melebihi sesuatu nilai input nombor nyata. [contoh: $\text{integer}(8.32)=8$, $\text{integer}(8.71)=8$.]
- (ii) Gunakan fungsi "integer" ini untuk memberikan takrif langsung suatu fungsi "bulat" yang membulatkan sesuatu nombor nyata input. [contoh: $\text{bulat}(8.32)=8$, $\text{bulat}(8.71)=9$.]
- (iii) Apabila diberikan nombor asli di antara 1 hingga 999 sebagai hujah, suatu fungsi "kira" mendarabkannya dengan 5, kemudian dicampur 6, diikuti pendaraban dengan 4, kemudian dicampur 9 dan diakhiri dengan pendaraban dengan 5 sekali lagi. Berikan takrif langsung fungsi ini.

Suatu fungsi "teka" pula menerima suatu nombor asli sebagai hujah, dan dengan syarat nombor ini merupakan hasil daripada pengiraan fungsi "kira", ia memberi sebagai output nombor asal iaitu input kepada fungsi "kira" tersebut; output ini diperolehi dengan membuang dua angka terakhir daripada input dan menolak nilai 1 daripada angka yang terdapat. Tuliskan spesifikasi fungsi "teka" ini.

[30/100]

2. a. Di dalam semua yang berikut, katakan $A = \{a,b,c,d,e,f,g,h,i,j\}$ dan $B = \{1,2,3,4,5\}$.

- (i) Yang mana daripada yang berikut merupakan unsur kepada set of A, set of set of A, dan/atau Petakan(A):
- $\{a,b,c\}$;
 - $\{\{a,e,f\},\{b,c,g\},\{d,h\},\{i,j\}\}$;
 - $\{\{a,b,c\},\{d,e,f\},\{h,i,j\}\}$.

- (ii) Pertimbangkan operasi berikut:

$$\text{XXX}(\alpha:A, \beta:A)$$

$$\text{ext wr p: Petakan}(A)$$

$$\text{post} = \{s \in \hat{p} \mid (\alpha \in s) \vee (\beta \in s)\} \cup \{ \bigcup \{s \in \hat{p} \mid (\alpha \in s) \wedge (\beta \in s)\} \}$$

Sekiranya $p = \{\{a,b,c\},\{d,e,f\},\{g,h\},\{i,j\}\}$ sebelum operasi ini dilaksanakan, apakah nilai p selepas pelaksanaan bagi $\alpha=a, \beta=b$.

- (iii) Berikan takrif petaan umum dengan menggunakan A dan B serta unsur petaan berkenaan untuk menggambarkan jadual berikut:

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
1	5	2	4	3	3	4	2	5	1

- (iv) Jadual di atas juga menggambarkan suatu petakan bagi A. Takrifkan suatu fungsi umum yang menerima suatu petaan (seperti yang di atas) sebagai input dan mengoutputkan petakan yang sepadan. Seterusnya, berikan hasil pelaksanaan fungsi tersebut pada petaan yang digambarkan oleh jadual tersebut.

- (v) Merujuk lagi kepada jadual di dalam (iii), takrifkan struktur data petaan yang sesuai untuk menggambarkan jadual yang sama tetapi dengan pandangan sebaliknya, iaitu:

1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
a	j	c	h	e	f	d	g	b	i

- (vi) Berikan spesifikasi suatu operasi yang setara dengan (ii) tetapi yang menggunakan p sebagai **petaan** dan bukan **petakan**. Berikan juga hasil perlaksanaannya bagi p yang sepadan [umpamanya $\{a \mapsto 1, b \mapsto 1, c \mapsto 1, d \mapsto 2, e \mapsto 2, f \mapsto 2, g \mapsto 3, h \mapsto 3, i \mapsto 4, j \mapsto 4\}$].

[60/100]

- b. Katakan $A = \{a,b,c,d,\dots,y,z\}$. Struktur data berikut boleh digunakan untuk mewakili perkataan-perkataan di dalam sesuatu bahasa:

Per = [Perel]
 Perel :: hd: A
 tl: Per

- (i) Berikan takrif langsung suatu fungsi "sama" yang menentukan sama ada dua perkataan adalah sama.
- (ii) Katakan $\text{Ascii} = \text{map } A \text{ to } \mathbb{N}$ merupakan petaan yang memetakan sesuatu huruf kepada suatu nombor asli yang ditafsirkan sebagai kod ASCII huruf berkenaan. Mengandaikan suatu $p \in \text{Ascii}$ tertentu telah ditetapkan, berikan takrif langsung suatu fungsi "kod" yang mengirakan kod ASCII sesuatu perkataan, dengan kod itu ditakrifkan sebagai jumlah kod ASCII huruf-hurufnya (andaikan NIL sentiasa dipetakan kepada 0).
- (iii) Berikan takrif langsung suatu fungsi "semak" yang menentukan sama ada dua perkataan mempunyai kod ASCII yang sama. Seterusnya, nyatakan hubungan logik **hublog** di dalam ungkapan berikut (berikan contoh-contoh yang sesuai):

$$\text{sama}(x,y) \text{ hublog } \text{semak}(x,y)$$

[40/100]

3. a. Katakan

M = set nama semua makmal
 K = set nama semua kakitangan
 P = set nama semua pelajar

] (*andaikan tiada dua nama yang sama*).

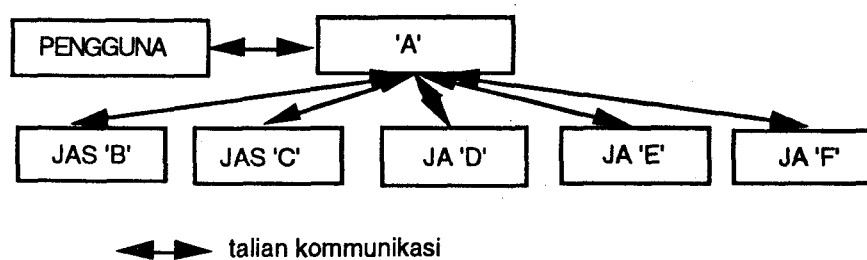
- (i) Katakan setiap makmal di Pusat Pengajian mempunyai nama rasmi, seorang kakitangan yang bertanggungjawab, sebilangan pelajar yang dibenarkan menggunakan makmal ini, dan tidak ketinggalan sebilangan komputer dan sebilangan pencetak dengan jumlah unit dua perkara terakhir ini tidak melebihi 40. Takrifkan suatu objek gubahan "Makmal" dengan tak varian sewajarnya untuk menggambarkan keadaan ini.

- (ii) Katakan pula setiap komputer mempunyai nombor pendaftaran (nombor asli 6 angka) dan merupakan salah satu daripada jenis Macintosh, PC atau terminal VT100, walhal pencetak berjenis Apple, PC atau Line disertai nombor pendaftarannya (6 angka juga). Takrifkan objek-objek gubahan "Komputer" dan "Pencetak" yang sesuai untuk data ini.
- (iii) Tuliskan semula objek gubahan "Makmal" dalam (i) untuk menerapkan struktur-struktur data baru untuk komputer dan pencetak seperti yang diberikan di dalam (ii); khususnya, pastikan bahawa maklumat-maklumat berikut ada terdapat di dalamnya (andaikan fungsi "card" yang mengirakan bilangan unsur suatu set sudah tertakrif):
- jumlah unit komputer dan pencetak masih tidak melebihi 40;
 - jumlah unit komputer Macintosh tidak melebihi 10;
 - jumlah unit pencetak Macintosh tidak melebihi 5.

[40/100]

- b. Katakan terdapat sebuah syarikat pembinaan perisian. Syarikat ini dibahagikan kepada beberapa kumpulan kerja. Salah satu daripada kumpulan tersebut diketuai oleh A yang merupakan seorang yang berkebolehan dan berpengalaman dalam pembinaan perisian tetapi tidak dalam hal-hal pengurusan. Di dalam syarikat ini ada dua juruanalisa sistem, JAS B dan JAS C, tetapi malangnya mereka tidak bersependapat. Selain itu terdapat juga tiga juruaturcara, JA D, JA E dan JA F yang mempunyai taraf pengalaman dan perwatakan yang berlainan. JA D ialah seorang juruaturcara yang mempunyai banyak pengalaman yang berkaitan dengan pembinaan perisian tetapi sangat pemalas. Berdasarkan projek-projek lalu, dia hanya dapat bertugas bersama JAS B. JA F pula ialah juruaturcara yang paling baru, dan pekerjaan ini merupakan perkerjaannya yang pertama setelah lulus peringkat sarjana. Beliau tidak berpengalaman dalam pembinaan perisian tetapi berkebolehan tinggi dan amat rajin. Beliau berkawan karib dengan JA E.

Pengguna yang dilayani oleh kumpulan ini berurus hanya dengan A. Buat masa ini, semua maklumat mesti diserahkan kepada A sebelum ia dapat disebarkan kepada ahli-ahli lain. Selain daripada A, ahli-ahli lain tidak diberi hak mengambil tindakan tanpa keizinan peringkat atasan. Struktur organisasi kumpulan ini boleh digambarkan seperti berikut:



Kumpulan ini menghadapi masalah menepati tarikh-tarikh yang ditetapkan. Keluaran-keluaran (atau produk-produk) yang dihasilkan juga tidak menepati keperluan dan jangkaan pengguna. Mesyuarat-mesyuarat yang sering diadakan biasanya diuruskan secara 'ad-hoc' dan selalu kurang berhasil positif. Masalah asas telahpun dikenalpasti sebagai masalah komunikasi.

Anda dijemput sebagai pakar runding untuk meyelesaikan masalah-masalah ini. Anda diberi kebebasan untuk mengubahsuaikan organisasi kumpulan, menakrifkan semula tugas-tugas ahli kumpulan dan memberi cadangan terhadap cara-cara untuk meningkatkan lagi aspek komunikasi. Berdasarkan keadaan yang di huraikan di atas, cadangkan serta jelaskan tiga perubahan bagi mengatasi masalah-masalah yang dibangkitkan.

[60/100]

4. Anda diberi tugas membangunkan sebuah sistem maklumat asas yang dapat digunakan oleh lebih daripada satu pengguna pada sesuatu masa. Sistem ini akan digunakan untuk merekod maklumat surat-menyurat yang diterima dan/atau dihantar oleh Bahagian Sains Komputer, USM. Sistem seperti ini harus mempunyai suatu modul antaramuka input, suatu modul antaramuka output dan suatu modul pengurusan pangkalan data. Modul-modul ini boleh dianggap tidak bersandaran di antara satu sama lain. Tempoh yang ditetapkan untuk menyiapkan keseluruhan projek ini ialah sembilan bulan. Sebagai Pengurus Projek, anda bertanggungjawab terhadap lima pekerja yang berkemampuan dan bertauliah. Andaikan anda telah diberi peruntukan yang mencukupi untuk mengendalikan projek ini.

- (i) Namakan serta terangkan semua fasa-fasa yang anda rasa perlu untuk menghasilkan suatu keluaran (produk) yang lengkap dan sedia untuk digunakan.

[10/100]

- (ii) Namakan serta terangkan semua keluaran yang dijangkakan bagi setiap fasa yang disenaraikan di dalam bahagian (i).

[10/100]

- (iii) Lukiskan suatu struktur pembahagian tugas untuk projek ini.

[5/100]

(iv) Dengan menggunakan Carta Gantt, lukiskan suatu jadual tugas mengikut masa untuk memastikan bahawa keluaran (produk) ini dapat dikawal supaya siap dalam jangka masa yang ditetapkan. Berdasarkan pengalaman, masa yang diperlukan untuk pembinaan modul-modul yang serupa ialah: sebulan setengah bagi modul antaramuka input, dua bulan bagi modul antaramuka output, dan tiga bulan (jika ditugaskan kepada dua pekerja) bagi modul pengurusan pangkalan data. Andaikan sebulan mengandungi tepat empat minggu.

[30/100]

(v) Berikan alasan mengapa anda memperuntukkan masa baki untuk tugas-tugas lain seperti di dalam jadual yang anda berikan dalam bahagian (iv).

[15/100]

(vi) Namakan serta terangkan tiga kualiti yang seharusnya dipentingkan dalam projek ini. Cadangkan bagaimana ia dapat dicapai.

[30/100]

Appendix E

Glossary of Symbols

Numbers

$N_1 = \{1, 2, \dots\}$	
$N = \{0, 1, 2, \dots\}$	
0, succ	as generators
$Z = \{\dots, -1, 0, 1, \dots\}$	
$R =$ real numbers	
normal arithmetic operators (e.g. +, -, <)	
mod	modulus

Functions

$f: D_1 \times D_2 \rightarrow R$	signature
$f(d)$	application
$\lambda x \in T . t$	abstraction
If ... then ... else ...	conditional
let $x = \dots$ in ...	local definition

Logic

$B = \{\text{true, false}\}$
 E_i are logical expressions, Γ is a list of logical expressions

$\neg E$	negation ¹
$E_1 \wedge E_2$	conjunction
$E_1 \vee E_2$	disjunction
$E_1 \Rightarrow E_2$	implication
$E_1 \Leftrightarrow E_2$	equivalence
$\forall x \in T \cdot E$	universal quantifier ²
$\exists x \in T \cdot E$	existential quantifier
$\exists! x \in T \cdot E$	unique existence
$\Gamma \vdash E$	sequent E can be proved from Γ (hypothesis \vdash conclusion)
$\Gamma \models E$	sequent (E is true in all worlds where Γ all true)
$\frac{\Gamma}{E}$	inference rule
$\frac{E_1}{E_2}$	bidirectional inference rule

Sets

S, T are sets, t_i are terms

set of T

$\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$

$\{\}$

\oplus

$\{x \in T \mid E\}$

$\{i, \dots, j\}$

$t \in S$

$t \notin S$

$S \subseteq T$

$S \subset T$

all finite subsets of T

set enumeration

empty set

generator

set comprehension

subset of integers

set membership

$\neg(t \in S)$

set containments (subset of)

strict set containment

¹The five propositional operators are given in decreasing order of priority

²With all of the quantifiers, the scope extends as far as possible to the right; no parentheses are required but they can be used for extra grouping.

APPENDIX E. GLOSSARY OF SYMBOLS

$S \cap T$	set intersection ³
$S \cup T$	set union
$S - T$	set difference
$S \circ T$	symmetric set difference
$\bigcup S$	distributed union
$\text{card } S$	cardinality of a set

Maps

M is a map	
map D to R	finite maps
$\text{dom } M$	domain
$\text{rng } M$	range
$\{d_1 \mapsto r_1, d_2 \mapsto r_2, \dots, d_n \mapsto r_n\}$	map enumeration
$\{\}$	empty map
\oplus	generator
$\{d \mapsto f(d) \mid E\}$	map comprehension
$m(d)$	application
$S \triangleleft M$	domain restriction
$S \triangleleft\!\!\!\! \triangleleft M$	domain deletion
$M_1 \uparrow M_2$	overwriting

Sequences

s, t are sequences	
seq of T	finite sequences
$\text{len } s$	length
$[t_1, t_2, \dots, t_n]$	sequence enumeration
$[\]$	empty sequence
cons	generator
$s \widehat{\ } t$	concatenation
$\text{hd } s$	head
$\text{tl } s$	tail
$s(i, \dots, j)$	sub-sequence

³Intersection is higher priority than union.

Composite Objects

o is a composite object

compose N of ... **end**
 where $inv-N() \triangleq \dots$

::

nil

$mk-N()$

$s_1(o)$

$\mu(o, s_1 \mapsto t)$

invariant

compose

omitted object

generator

selector

modify a component

Function Specification

$f(d:D) r:R$

pre ... d ...

post ... d ... r ...

Operation Specification

$OP(p:Tp) r:Tr$

ext rd $e_1: T_1$, wr $e_2: T_2$

pre ... p ... e_1 ... e_2 ...

post ... p ... e_1 ... $\overline{e_2}$... r ... e_2 ...

Appendix A

Rules of Logic

Conventions

1. E, E_1, \dots denote logical expressions.
2. x, y, \dots denote variables over proper elements in a universe.
3. c, c_1, \dots denote constants over proper elements in a universe.
4. s, s_1, \dots denote terms which may contain partial functions.
5. $E(x)$ denotes a formula in which x occurs free.
6. $E(s/x)$ denotes a formula obtained by substituting all free occurrences of x by s in E . If a clash between free and bound variables would occur, suitable renaming is performed before the substitution.
7. $E[s_2/s_1]$ denotes a formula obtained by substituting some occurrences of s_1 by s_2 . If a clash between free and bound variables would occur, then suitable renaming is performed before the substitution.
8. X is a non-empty set.
9. An "arbitrary" variable is one about which no results have been established.

General Properties

inf $\frac{E_1 \vdash E_2; E_1}{E_2}$

var-l $\frac{}{x^1 \in X}$

commutativity ($\vee / \wedge / \leftrightarrow$ -comm)

$$\frac{E_1 \vee E_2}{E_2 \vee E_1}$$

$$\frac{E_1 \wedge E_2}{E_2 \wedge E_1}$$

$$\frac{E_1 \leftrightarrow E_2}{E_2 \leftrightarrow E_1}$$

associativity ($\vee / \wedge / \leftrightarrow$ -ass)

$$\frac{(E_1 \vee E_2) \vee E_3}{E_1 \vee (E_2 \vee E_3)}$$

$$\frac{(E_1 \wedge E_2) \wedge E_3}{E_1 \wedge (E_2 \wedge E_3)}$$

$$\frac{(E_1 \leftrightarrow E_2) \leftrightarrow E_3}{E_1 \leftrightarrow (E_2 \leftrightarrow E_3)}$$

transitivity ($\Rightarrow / \leftrightarrow$ -trans)

$$\frac{E_1 \Rightarrow E_2; E_2 \Rightarrow E_3}{E_1 \Rightarrow E_3}$$

$$\frac{E_1 \leftrightarrow E_2; E_2 \leftrightarrow E_3}{E_1 \leftrightarrow E_3}$$

substitution

=t-subs $\frac{s_1 = s_2; E}{E[s_2/s_1]}$

=v-subs $\frac{s \in X; x \in X \vdash E(x)}{E(s/x)}$

=-comm $\frac{s_1 = s_2}{s_2 = s_1}$

=-trans $\frac{s_1 = s_2; s_2 = s_3}{s_1 = s_3}$

$f: D \rightarrow R$

$f(d) \triangleq e$

$e_0 = e(d_0/d)$

¹ x is arbitrary

$$\underline{\Delta\text{-subs}} \quad \frac{d_0 \in D; E(e_0)}{E[f(d_0)/e_0]}$$

$$\underline{\Delta\text{-inst}} \quad \frac{d_0 \in D; E(f(d_0))}{E[e_0/f(d_0)]}$$

$$f(d) \stackrel{\Delta}{=} \text{if } c \text{ then } ct \text{ else } cf$$

$$\underline{\text{if-subst}} \quad \frac{d_0 \in D; e_0; E(ct_0)}{E[f(d_0)/et_0]}$$

$$\frac{d_0 \in D; \neg e_0; E(cf_0)}{E[f(d_0)/ef_0]}$$

Definitions of Connectives

$$\underline{\text{f-defn}} \quad \frac{\neg \text{true}}{\text{false}}$$

$$\underline{\wedge\text{-defn}} \quad \frac{\neg(\neg E_1 \vee \neg E_2)}{E_1 \wedge E_2}$$

$$\underline{\Rightarrow\text{-defn}} \quad \frac{\neg E_1 \vee E_2}{E_1 \Rightarrow E_2}$$

$$\underline{\Leftrightarrow\text{-defn}} \quad \frac{(E_1 \Rightarrow E_2) \wedge (E_2 \Rightarrow E_1)}{E_1 \Leftrightarrow E_2}$$

$$\underline{\forall\text{-defn}} \quad \frac{\neg \exists x \in X \cdot \neg E(x)}{\forall x \in X \cdot E(x)}$$

Relationships between Operators

$$\underline{\text{deM}} \quad \frac{\neg(E_1 \vee E_2)}{\neg E_1 \wedge \neg E_2}$$

$$\frac{\neg(E_1 \wedge E_2)}{\neg E_1 \vee \neg E_2}$$

$$\frac{\neg \exists x \in X \cdot E(x)}{\forall x \in X \cdot \neg E(x)}$$

$$\frac{\neg \forall x \in X \cdot E(x)}{\exists x \in X \cdot \neg E(x)}$$

$$\text{dist} \quad \frac{E_1 \vee E_2 \wedge E_3}{(E_1 \vee E_2) \wedge (E_1 \vee E_3)} \quad \frac{E_1 \wedge (E_2 \vee E_3)}{E_1 \wedge E_2 \vee E_1 \wedge E_3}$$

$$\exists\vee\text{-dist} \quad \frac{\exists x \in X \cdot E_1(x) \vee E_2(x)}{(\exists x \in X \cdot E_1(x)) \vee (\exists x \in X \cdot E_2(x))}$$

$$\exists\wedge\text{-dist} \quad \frac{\exists x \in X \cdot E_1(x) \wedge E_2(x)}{(\exists x \in X \cdot E_1(x)) \wedge (\exists x \in X \cdot E_2(x))}$$

$$\forall\vee\text{-dist} \quad \frac{(\forall x \in X \cdot E_1(x)) \vee (\forall x \in X \cdot E_2(x))}{\forall x \in X \cdot E_1(x) \vee E_2(x)}$$

$$\forall\wedge\text{-dist} \quad \frac{(\forall x \in X \cdot E_1(x)) \wedge (\forall x \in X \cdot E_2(x))}{\forall x \in X \cdot E_1(x) \wedge E_2(x)}$$

Substitution

$$\wedge\text{-subs} \quad \frac{E_1 \wedge \dots \wedge E_i \wedge \dots \wedge E_n; E_i \vdash E}{E_1 \wedge \dots \wedge E \wedge \dots \wedge E_n}$$

$$\vee\text{-subs} \quad \frac{E_1 \vee \dots \vee E_i \vee \dots \vee E_n; E_i \vdash E}{E_1 \vee \dots \vee E \vee \dots \vee E_n}$$

$$\exists\text{-subs} \quad \frac{\exists x \in X \cdot E_1(x); E_1(x) \vdash E(x)}{\exists x \in X \cdot E(x)}$$

$$\text{contr} \quad \frac{E_1; \neg E_1}{E_2}$$

$$\Rightarrow\text{-contrp} \quad \frac{E_1 \Rightarrow E_2}{\neg E_2 \Rightarrow \neg E_1}$$

APPENDIX A. RULES OF LOGIC

INTRODUCTION (op-I) ELIMINATION (op-E)

$\neg\neg$	$\frac{E}{\neg\neg E}$	$\frac{\neg\neg E}{E}$
\vee	$\frac{E_i}{E_1 \vee E_2 \vee \dots \vee E_n}$	$\frac{E_1 \vee \dots \vee E_n; E_1 \vdash E; \dots; E_n \vdash E}{E}$
\wedge	$\frac{E_1; E_2; \dots; E_n}{E_1 \wedge E_2 \wedge \dots \wedge E_n}$	$\frac{E_1 \wedge E_2 \wedge \dots \wedge E_n}{E_i}$
$\neg\vee$	$\frac{\neg E_1; \neg E_2; \dots; \neg E_n}{\neg(E_1 \vee E_2 \vee \dots \vee E_n)}$	$\frac{\neg(E_1 \vee E_2 \vee \dots \vee E_n)}{\neg E_i}$
$\neg\wedge$	$\frac{\neg E_i}{\neg(E_1 \wedge \dots \wedge E_n)}$	$\frac{\neg(E_1 \wedge \dots \wedge E_n); \neg E_1 \vdash E; \dots; \neg E_n \vdash E}{E}$
\Rightarrow	$\frac{E_1 \vdash E_2; E_1 \in B}{E_1 \Rightarrow E_2}$	
vac \Rightarrow	$\frac{E_2}{E_1 \Rightarrow E_2}$	$\frac{E_1 \Rightarrow E_2; \neg E_2}{\neg E_1}$
	$\frac{\neg E_1}{E_1 \Rightarrow E_2}$	$\frac{E_1 \Rightarrow E_2; E_1}{E_2}$
\Leftrightarrow	$\frac{E_1 \wedge E_2}{E_1 \Leftrightarrow E_2}$	$\frac{E_1 \Leftrightarrow E_2}{E_1 \wedge E_2 \vee \neg E_1 \wedge \neg E_2}$
	$\frac{\neg E_1 \wedge \neg E_2}{E_1 \Leftrightarrow E_2}$	
$\neg \Leftrightarrow$	$\frac{E_1 \wedge \neg E_2}{\neg(E_1 \Leftrightarrow E_2)}$	$\frac{\neg(E_1 \Leftrightarrow E_2)}{E_1 \wedge \neg E_2 \vee \neg E_1 \wedge E_2}$

$$\frac{\neg E_1 \wedge E_2}{\neg(E_1 \Leftrightarrow E_2)}$$

$$\exists \quad \frac{s \in X; E(s/x)}{\exists x \in X \cdot E(x)} \quad \frac{\exists x \in X \cdot E(x); y^2 \in X, E(y/x) \vdash E_1}{E_1}$$

$$\forall \quad \frac{x^3 \in X \vdash E(x)}{\forall x \in X \cdot E(x)} \quad \frac{\forall x \in X \cdot E(x); s \in X}{E(s/x)}$$

$$\neg \exists \quad \frac{x \in X \vdash \neg E(x)}{\neg \exists x \in X \cdot E(x)} \quad \frac{\neg \exists x \in X \cdot E(x); s \in X}{\neg E(s/x)}$$

$$\neg \forall \quad \frac{s \in X; \neg E(s/x)}{\neg \forall x \in X \cdot E(x)} \quad \frac{\neg \forall x \in X \cdot E(x); y^4 \in X, \neg E(y/x) \vdash E}{E}$$

Miscellaneous

$$\exists \text{split} \quad \frac{\exists x \in X \cdot E(x, x)}{\exists x, y \in X \cdot E(x, y)}$$

$$\forall \text{fix} \quad \frac{\forall x, y \in X \cdot E(x, y)}{\forall x \in X \cdot E(x, x)}$$

$$\forall \rightarrow \exists \quad \frac{\forall x \in X^5 \cdot E(x)}{\exists x \in X \cdot E(x)}$$

$$\frac{\exists x \in X \cdot \forall y \in Y \cdot E(x, y)}{\forall y \in Y \cdot \exists x \in X \cdot E(x, y)}$$

²y is arbitrary and not free in E_1

³x is arbitrary

⁴y is arbitrary and not free in E

⁵X is non-empty

APPENDIX A. RULES OF LOGIC

	$\frac{\forall x \in X \cdot E_1(x) \Leftrightarrow E_2(x)}{(\forall x \in X \cdot E_1(x)) \Leftrightarrow (\forall x \in X \cdot E_2(x))}$	
==-contr	$\frac{\neg(s = s)}{E}$	
==-term	$\frac{s \in X}{s = s}$	
==-comp	$\frac{s_1, s_2 \in X}{(s_1 = s_2) \vee \neg(s_1 = s_2)}$	
Δ -I	$\frac{E}{\Delta E}$	$\frac{\neg E}{\Delta E}$
Δ -E	$\frac{\Delta E; E \vdash E_1; \neg E \vdash E_1}{E_1}$	
$\neg\Delta$ -I	$\frac{\Delta E \vdash E_1; \Delta E \vdash \neg E_1}{\neg\Delta E}$	
$\neg\Delta$ -E	$\frac{\neg\Delta E \vdash E_1; \neg\Delta E \vdash \neg E_1}{\Delta E}$	
===-refl	$\frac{}{s === s}$	
===-subs	$\frac{s_1 === s_2; E}{E[s_2/s_1]}$	
===-comm	$\frac{s_1 === s_2}{s_2 === s_1}$	
===-trans	$\frac{s_1 === s_2; s_2 === s_3}{s_1 === s_3}$	
===-i	$\frac{s_1 === s_2; s_1 \in X}{s_1 = s_2}$	
===-e	$\frac{s_1 = s_2}{s_1 === s_2}$	

Appendix B

Properties of Data

Relations

Ordering: Transitive, Reflexive, Antisymmetric.

Equivalence: Transitive, Reflexive, Symmetric.

Natural Numbers (cf. Section 3.2)

$0: \mathbf{N}$

$\text{succ}: \mathbf{N} \rightarrow \mathbf{N}$

$\mathbf{N}\text{-ind} \quad \frac{p(0); n \in \mathbf{N}, p(n) \vdash p(n+1)}{n \in \mathbf{N} \vdash p(n)}$

$\mathbf{N}\text{-indp} \quad \frac{p(0); n \in \mathbf{N}_1, p(n-1) \vdash p(n)}{n \in \mathbf{N} \vdash p(n)}$

$\mathbf{N}\text{-cind} \quad \frac{n, m \in \mathbf{N}, m < n \Rightarrow p(m) \vdash p(n)}{n \in \mathbf{N} \vdash p(n)}$

Sets (cf. Section 4.3)

s, s_i are sets

$\{\}$: set of X

$\oplus \vdash X \times \text{set of } X \rightarrow \text{set of } X$

Bentuk umum petua Δ -subs dan Δ -inst.

Andaikan:

$$f : D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n \rightarrow R$$

$$f(m_1, m_2, \dots, m_n) \triangleq e$$

$$e_0 = e(d_1/m_1, \dots, d_n/m_n)$$

$$\Delta\text{-subs} \frac{d_1 \in D_1, \dots, d_n \in D_n; E(e_0)}{E[f(d_1, \dots, d_n)/e_0]}$$

$$\Delta\text{-inst} \frac{d_1 \in D_1, \dots, d_n \in D_n; E(f(d_1, \dots, d_n))}{E[e_0/f(d_1, \dots, d_n)]}$$

- oooOooo -