



LAMPIRAN

Lampiran 1 Sintaks program dan hasil numerik LINGO 20.0 pada Kasus 1

Sintaks pada Lingo 20.0

```
SETS :
vertex /1..16/: d,p,q,t1,t2;
v0 (vertex) /1/;
vs (vertex) /2,3,4/;
vb (vertex) /14,15,16/;
vc (vertex) /5,6,7,8,9,10,11,12,13/;
v1 (vertex) | @in(v0,&1) #OR# @in(vs,&1);
v2 (vertex) | #not# @in(v0,&1);
vcb (vertex) | @in(vc,&1) #OR# @in(vb,&1);
v0sb (vertex) | #not# @in(vc,&1);
kendaraan /1..4/: b,qk,cf,ck;
k1 (kendaraan) /1/;
k2 (kendaraan) /2,3,4/;
edge (vertex, vertex): dis,y;
verken (vertex, kendaraan): u,bm,bn,a;
croute (vertex, vertex, kendaraan): x;
eroute (vertex, vertex, vertex, kendaraan): z;
ENDSETS

DATA :
!jarak tempuh (km);
dis =
0 33 36 25 52 74 58 33 0 38 57 29 56 62 36 38 0 44 31 42 25 25 57 44 0
69 86 58 52 29 31 69 0 27 46 74 56 42 86 27 0 42 58 62 25 58 46 42 0
73 40 62 95 31 46 77 60 30 68 84 48 73 90 22 51 58 27 73 96 78 47 73
43 28 74 82 44 69 100 77 44 107 116 78 57 90 81 37 106 123 92 85 73 50
93 45 19 39 76 44 75 100 47 66 93 45 77 75 32 96 116 90 !asumsi
kecepatan rata2;
kec = 40;
!kapasitas baterai kendaraan;
b = 0 49 39 25;
!kapasitas kendaraan (kg);
qk = 300 115 100 90;
!demand (kg);
d = 0 0 0 0 15 20 20
!tingkat konsumsi baterai (kwh/km);
h = 0.3;
!biaya perjalanan (rp/km);
cak = 2246;
cbk = 990;
!biaya tetap (rp/kendaraan);
caf = 177550;
cbf = 221738;
```



```
!waktu awal (menit);
p = 480;
!waktu akhir (menit);
q = 780;
!big-m;
m = 100;

!print report;
@text() = @write('total biaya: ', f, @newline(2));
@text() = @writefor(k2(k):
    'total waktu tempuh kendaraan ', k, ': ', @sum(edge(i,j):
@text() = @write(@newline(1));
);
@text() = @writefor(croute(i,j,k) | x(i,j,k)#eq#1:
    'terdapat kunjungan dari node ', i, ' ke node ', j, ' deng
);
@text() = @writefor(eroute(i,j,s,k) | z(i,j,s,k)#eq#1:
    'terdapat kunjungan dari node ', i, ' ke node ', j, ' deng
);
@text() = @write(@newline(1));
ENDDATA

!Fungsi Objektif;
f = cak * @sum(k1(k): @sum(v1(i): @sum(v1(j) | i#ne#j : (dis(i,j)* 6
    + cbk * @sum(k2(k): @sum(vs(s): @sum(v2(i): @sum(v2(j) | i
    !+ caf * @sum(k1(k): @sum(vs(j): x(1,j,k)))
    + cbf * @sum(k2(k): @sum(vs(s): @sum(vcb(j): z(s,j,s,k))))
MIN = f;

!J7: kekontinuan rute eselon 1
@for(v1(j): @for(k1(k):
    @sum(v1(i) | i#ne#j : x(i,j,k)) = @sum(v1(i) | i#ne#j: x(j
));
!J8: satelit dapat dikunjungi lebih dari 1 kali;
@for(vs(j):
    @sum(k1(k): @sum(v1(i) | i#ne#j : x(i,j,k))) >= 1
);
!J9: pengiriman ke satelit kurang dari kapasitas icv;
@for(k1(k):
    @sum(vs(i): u(i,k)) <= qk(k)
);
!J10: lower bound waktu kedatangan eselon 1;
!@for(k1(k): @for(v1(i): @for(vs(j) | i#ne#j :
    t1(j) >= t1(i) + (dis(i,j)* 60 /kec) - m * (1 - x(i,j,k))
));
!J11: upper bound waktu kedatangan eselon 1;
!@for(k1(k): @for(v1(i): @for(vs(j) | i#ne#j :
    t1(j) <= t1(i) + (dis(i,j)* 60 /kec) + m * (1 - x(i,j,k))
));
!J12: waktu kedatangan terakhir di satelit (tidak digunakan);
```



```

!@for(vs(s): t1(s) <= ts);
!J13: kekontinuan rute eselon 2;
@for(v2(j): @for(vs(s): @for(k2(k):
    @sum(v2(i) | i#ne#j : z(i,j,s,k)) = @sum(v2(i) | i#ne#j: z
)));
!J14: pelanggan hanya dapat dikunjungi 1 kali;
@for(vc(j):
    @sum(k2(k): @sum(vs(s): @sum(v2(i) | i#ne#j : z(i,j,s,k)))
);
!J15: total demand pelanggan harus lebih kecil atau sama dengan kapa
@for(vs(s): @for(k2(k):
    @sum(v2(i): @sum(v2(j) | i#ne#j : d(j) * z(i,j,s,k))) <= q
);
!J16: total demand di satelit harus lebih besar atau sama dengan dem
@for(vs(s):
    @sum(k1(k): u(s,k)) >= @sum(k2(k): @sum(v2(i): @sum(v2(j));
!J17: waktu kedatangan harus di dalam jam operasional konsumen;
!@for(vc(i):
    t2(i) >= p(i);
    !t2(i) <= q(i);
!);
!J18: lower bound waktu kedatangan eselon 2;
!@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(vcb(j) | i#ne#j :
    t2(j) >= t2(i) + (dis(i,j) * 60 /kec) - m * (1 - z(i,j,s,k
))));
!J19: upper bound waktu kedatangan eselon 2;
!@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(vcb(j) | i#ne#j :
    t2(j) <= t2(i) + (dis(i,j) * 60 /kec) + m * (1 - z(i,j,s,k
))));
!J20: baterai tidak berkurang saat di pelanggan;
@for(k2(k): @for(vc(i):
    bn(i,k) = bm(i,k)
));
!J21: baterai full dari depot,satelit,dan spklu;
@for(k2(k): @for(v0sb(i):
    bn(i,k) = b(k) * @sum(vcb(j): @sum(vs(s): z(i,j,s,k)))
));
!J22: batas atas pengurangan baterai saat perjalanan;
@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(v2(j) | i#ne#j :
    bm(j,k) <= bn(i,k) - h * dis(i,j) * z(i,j,s,k) + b(k) * (1
))));
!J23: batas bawah pengurangan baterai saat perjalanan;
@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(v2(j) | i#ne#j :
    bm(j,k) >= bn(i,k) - h * dis(i,j) * z(i,j,s,k) - b(k) * (1
))));
!J24: pembatas bulangan;
@for(vertex(i): @for(kendaraan(k):
    bm(i,k) >= 0;
bn(i,k) >= 0;
);

```

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



```

!J25: pembatas bulangan;
@for(vertex(i): @for(vertex(j): @for(kendaraan(k): @bin(x(i,j,k)) ))
!J26: pembatas bulangan;
@for(vertex(i): @for(vertex(j): @for(vertex(s): @for(kendaraan(k): @
4
!J27: pembatas bulangan;
@for(vertex(i): @for(kendaraan(k): u(i,k) >= 0 ));
!J28: pembatas bulangan;
!@for(vertex(i):
    t1(i) >= 0;
    !t2(i) >= 0;
!);
!tambahan kendala;
!jika lewat satelit s, maka rutenya punya s;
@for(vs(i): @for(vertex(j): @for(vs(s) | i#ne#s: @for(kendaraan(k):
!Setiap mobil listrik hanya bisa dipakai di satu satelit;
@for(vs(s): @for(k2(k):
    @sum(v2(i): @sum(v2(j): z(i,j,s,k))) <= m * a(s,k);
    @bin(a(s,k));
));
@for(k2(k):
    @sum(vs(s): a(s,k)) <= 1;
);
!koneksi waktu di eselon 1 dan 2;
!@for(vs(i): @for(vcb(j):
    t2(j) <= t1(i) + (dis(i,j)* 60 /kec) + m * (1 - @sum(k2(k)
));
!perjalanan dari dan ke titik yang sama tidak diperbolehkan;
@for(vs(s): @for(k2(k): @for(v2(i):
    z(i,i,s,k) = 0
));
!waktu total perjalanan eselon 1;
@for(k1(k):
    @sum(v1(i): @sum(vs(j) | i#ne#j : (dis(i,j)* 60 /kec) * x(
);
!waktu total perjalanan eselon 2;
@for(k2(k): @for(vs(s):
    @sum(v2(i): @sum(vcb(j) | i#ne#j : (dis(i,j) * 60 /kec) *
));
!perjalanan eselon 2 harus dimulai dari satelit;
@for(vs(s):
@sum(vcb(j): @sum(k2(k): z(s,j,s,k))) = 1
);
!kendala subtur eselon 2;
@for(vcb(i): @for(vcb(j):
    t2(j) + m * (1 - @sum(vs(s): @sum(k2(k): z(i,j,s,k)))) > t
));
@for(vcb(i): t2(i) >= 0);
!kendala hubungan muatan dan rute eselon 1;
@for(k1(k): @for(vs(s):

```

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



!kendala subtur eselon 1;

```
@for(vs(i): @for(vs(j):
    t1(j) + m * (1 - @sum(k1(k): x(i,j,k))) > t1(i) + 1
```

```
);
@for(vs(i): t1(i) >= 0);
```

Hasil Numerik

Global optimal solution found.
Objective value: 1076055.
Objective bound: 1076055.
Infeasibilities: 0.000000
Extended solver steps: 765
Total solver iterations: 326448
Elapsed runtime seconds: 73.93

total biaya: 1076055

terdapat kunjungan dari node 1 ke node 2 dengan kendaraan 1
terdapat kunjungan dari node 2 ke node 3 dengan kendaraan 1
terdapat kunjungan dari node 3 ke node 4 dengan kendaraan 1
terdapat kunjungan dari node 4 ke node 1 dengan kendaraan 1
terdapat kunjungan dari node 2 ke node 9 dengan kendaraan 4
terdapat kunjungan dari node 3 ke node 5 dengan kendaraan 3
terdapat kunjungan dari node 4 ke node 11 dengan kendaraan 2
terdapat kunjungan dari node 5 ke node 6 dengan kendaraan 3
terdapat kunjungan dari node 6 ke node 7 dengan kendaraan 3
terdapat kunjungan dari node 7 ke node 3 dengan kendaraan 3
terdapat kunjungan dari node 8 ke node 2 dengan kendaraan 4
terdapat kunjungan dari node 9 ke node 15 dengan kendaraan 4
terdapat kunjungan dari node 10 ke node 4 dengan kendaraan 2
terdapat kunjungan dari node 11 ke node 12 dengan kendaraan 2
terdapat kunjungan dari node 12 ke node 13 dengan kendaraan 2
terdapat kunjungan dari node 13 ke node 16 dengan kendaraan 2
terdapat kunjungan dari node 15 ke node 8 dengan kendaraan 4
terdapat kunjungan dari node 16 ke node 10 dengan kendaraan 2

Model Class: MILP

Total variables: 17460

Nonlinear variables: 0

Integer variables: 16916

Total constraints: 4400

Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 24065

Nonlinear nonzeros: 0



Lampiran 2 Sintaks program dan hasil numerik LINGO 20.0 pada Kasus 2

Sintaks pada Lingo 20.0

```
SETS :
vertex /1..16/: d,p,q,t1,t2;
v0 (vertex) /1/;
vs (vertex) /2,3,4/;
vb (vertex) /14,15,16/;
vc (vertex) /5,6,7,8,9,10,11,12,13/;
v1 (vertex) | @in(v0,&1) #OR# @in(vs,&1);
v2 (vertex) | #not# @in(v0,&1);
vcb (vertex) | @in(vc,&1) #OR# @in(vb,&1);
vosb (vertex) | #not# @in(vc,&1);
kendaraan /1..4/: b,qk,cf,ck;
k1 (kendaraan) /1/;
k2 (kendaraan) /2,3,4/;
edge (vertex, vertex): dis,y;
verken (vertex, kendaraan): u,bm,bn,a;
croute (vertex, vertex, kendaraan): x;
eroute (vertex, vertex, vertex, kendaraan): z;
ENDSETS

DATA :
!jarak tempuh (km);
dis =
0 33 36 25 52 74 58 33 0 38 57 29 56 62 36 38 0 44 31 42 25 25 57 44 0
69 86 58 52 29 31 69 0 27 46 74 56 42 86 27 0 42 58 62 25 58 46 42 0
73 40 62 95 31 46 77 60 30 68 84 48 73 90 22 51 58 27 73 96 78 47 73
43 28 74 82 44 69 100 77 44 107 116 78 57 90 81 37 106 123 92 85 73 50
93 45 19 39 76 44 75 100 47 66 93 45 77 75 32 96 116 90 !asumsi
kecepatan rata2;
kec = 40;
!kapasitas baterai kendaraan;
b = 0 36 39 25;
!kapasitas kendaraan (kg);
qk = 300 100 115 50;
!demand (kg);
d = 0 0 0 0 15 20 20
!tingkat konsumsi baterai (kwh/km);
h = 0.3;
!biaya perjalanan (rp/km);
cak = 2246;
cbk = 990;
!biaya tetap (rp/kendaraan);
caf = 177550;
cbf = 221738;
!waktu awal (menit);
p = 480;
```



```

!waktu akhir (menit);
q = 780;
!big-m;
m = 100;

!print report;
@text() = @write('total biaya: ', f, @newline(2));
@text() = @writefor(k2(k):
    'total waktu tempuh kendaraan ', k, ': ', @sum(edge(i,j):
@text() = @write(@newline(1));
)
@text() = @writefor(croute(i,j,k) | x(i,j,k)#eq#1:
    'terdapat kunjungan dari node ', i, ' ke node ', j, ' deng
)
@text() = @writefor(eroute(i,j,s,k) | z(i,j,s,k)#eq#1:
    'terdapat kunjungan dari node ', i, ' ke node ', j, ' deng
);
@text() = @write(@newline(1));
ENDDATA

!Fungsi Objektif;
f = cak * @sum(k1(k): @sum(v1(i): @sum(v1(j) | i#ne#j : (dis(i,j)* 6
    + cbk * @sum(k2(k): @sum(vs(s): @sum(v2(i): @sum(v2(j) | i
    !+ caf * @sum(k1(k): @sum(vs(j): x(1,j,k)))
    + cbf * @sum(k2(k): @sum(vs(s): @sum(vcb(j): z(s,j,s,k))))
MIN = f;

!J7: kekontinuan rute eselon 1;
@for(v1(j): @for(k1(k):
    @sum(v1(i) | i#ne#j : x(i,j,k)) = @sum(v1(i) | i#ne#j: x(j
));

!J8: satelit dapat dikunjungi lebih dari 1 kali;
@for(vs(j):
    @sum(k1(k): @sum(v1(i) | i#ne#j : x(i,j,k))) >= 1
);
!J9: pengiriman ke satelit kurang dari kapasitas icv;
@for(k1(k):
    @sum(vs(i): u(i,k)) <= qk(k)
);
!J10: lower bound waktu kedatangan eselon 1;
!@for(k1(k): @for(v1(i): @for(vs(j) | i#ne#j :
    t1(j) >= t1(i) + (dis(i,j)* 60 /kec) - m * (1 - x(i,j,k))
));
!J11: upper bound waktu kedatangan eselon 1;
!@for(k1(k): @for(v1(i): @for(vs(j) | i#ne#j :
    t1(j) <= t1(i) + (dis(i,j)* 60 /kec) + m * (1 - x(i,j,k))
));
!J12: waktu kedatangan terakhir di satelit (tidak digunakan);
!@for(vs(s): t1(s) <= ts);

```



```

!J13: kekontinuan rute eselon 2;
@for(v2(j): @for(vs(s): @for(k2(k):
    @sum(v2(i) | i#ne#j : z(i,j,s,k)) = @sum(v2(i) | i#ne#j: z
)));
!J14: pelanggan hanya dapat dikunjungi 1 kali;
@for(vc(j):
    @sum(k2(k): @sum(vs(s): @sum(v2(i) | i#ne#j : z(i,j,s,k)))
);
!J15: total demand pelanggan harus lebih kecil atau sama dengan kapa
@for(vs(s): @for(k2(k):
    @sum(v2(i): @sum(v2(j) | i#ne#j : d(j) * z(i,j,s,k))) <= q
);
!J16: total demand di satelit harus lebih besar atau sama dengan dem
@for(vs(s):
    @sum(k1(k): u(s,k)) >= @sum(k2(k): @sum(v2(i): @sum(v2(j)
);
3
!J17: waktu kedatangan harus di dalam jam operasional konsumen;
!@for(vc(i):
    t2(i) >= p(i);
    !t2(i) <= q(i);
!);
!J18: lower bound waktu kedatangan eselon 2;
!@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(vcb(j) | i#ne#j :
    t2(j) >= t2(i) + (dis(i,j) * 60 /kec) - m * (1 - z(i,j,s,k
))));
!J19: upper bound waktu kedatangan eselon 2;
!@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(vcb(j) | i#ne#j :
    t2(j) <= t2(i) + (dis(i,j) * 60 /kec) + m * (1 - z(i,j,s,k
))));
!J20: baterai tidak berkurang saat di pelanggan;
@for(k2(k): @for(vc(i):
    bn(i,k) = bm(i,k)
));
!J21: baterai full dari depot,satelit,dan spklu;
@for(k2(k): @for(v0sb(i):
    bn(i,k) = b(k) * @sum(vcb(j): @sum(vs(s): z(i,j,s,k)))
));
!J22: batas atas pengurangan baterai saat perjalanan;
@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(v2(j) | i#ne#j :
    bm(j,k) <= bn(i,k) - h * dis(i,j) * z(i,j,s,k) + b(k) * (1
))));
!J23: batas bawah pengurangan baterai saat perjalanan;
@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(v2(j) | i#ne#j :
    bm(j,k) >= bn(i,k) - h * dis(i,j) * z(i,j,s,k) - b(k) * (1
));
!J24: pembatas bulangan;
@for(vertex(i): @for(kendaraan(k):
    bm(i,k) >= 0;
bn(i,k) >= 0;

```



```

));
!J25: pembatas bulangan;
@for(vertex(i): @for(vertex(j): @for(kendaraan(k): @bin(x(i,j,k)) ))
!J26: pembatas bulangan;
@for(vertex(i): @for(vertex(j): @for(vertex(s): @for(kendaraan(k): @
4
!J27: pembatas bulangan;
@for(vertex(i): @for(kendaraan(k): u(i,k) >= 0 ));
!J28: pembatas bulangan;
!@for(vertex(i):
    t1(i) >= 0;
    !t2(i) >= 0;
!);
!tambahan kendala;
!jika lewat satelit s, maka rutenya punya s;
@for(vs(i): @for(vertex(j): @for(vs(s) | i#ne#s: @for(kendaraan(k):
!setiap mobil listrik hanya bisa dipakai di satu satelit;
@for(vs(s): @for(k2(k):
    @sum(v2(i): @sum(v2(j): z(i,j,s,k))) <= m * a(s,k);
    @bin(a(s,k));
));
@for(k2(k):
    @sum(vs(s): a(s,k)) <= 1;
);
!koneksi waktu di eselon 1 dan 2;
!@for(vs(i): @for(vcb(j):
    t2(j) <= t1(i) + (dis(i,j)* 60 /kec) + m * (1 - @sum(k2(k)
));
!perjalanan dari dan ke titik yang sama tidak diperbolehkan;
@for(vs(s): @for(k2(k): @for(v2(i):
    z(i,i,s,k) = 0
));
!waktu total perjalanan eselon 1;
@for(k1(k):
    @sum(v1(i): @sum(vs(j) | i#ne#j : (dis(i,j)* 60 /kec) * x(
);
!waktu total perjalanan eselon 2;
@for(k2(k): @for(vs(s):
    @sum(v2(i): @sum(vcb(j) | i#ne#j : (dis(i,j) * 60 /kec) *
));
!perjalanan eselon 2 harus dimulai dari satelit;
@for(vs(s):
@sum(vcb(j): @sum(k2(k): z(s,j,s,k))) = 1
);
!kendala subtur eselon 2;
@for(vcb(i): @for(vcb(j):
    t2(j) + m * (1 - @sum(vs(s): @sum(k2(k): z(i,j,s,k)))) > t
));
@for(vcb(i): t2(i) >= 0);
!kendala hubungan muatan dan rute eselon 1;

```



```
@for(k1(k): @for(vs(s):
    u(s,k) <= qk(k) * @sum(v1(i): x(i,s,k))
));
!kendala subtur eselon 1;
@for(vs(i): @for(vs(j):
    t1(j) + m * (1 - @sum(k1(k): x(i,j,k))) > t1(i) + 1
));
@for(vs(i): t1(i) >= 0);
```

Hasil Numerik

Global optimal solution found.

Objective value:	1105755.
Objective bound:	1105755.
Infeasibilities:	0.000000
Extended solver steps:	4981
Total solver iterations:	664210
Elapsed runtime seconds:	209.59

total biaya: 1105755

terdapat kunjungan dari node 1 ke node 4 dengan kendaraan 1
 terdapat kunjungan dari node 2 ke node 1 dengan kendaraan 1
 terdapat kunjungan dari node 3 ke node 2 dengan kendaraan 1
 terdapat kunjungan dari node 4 ke node 3 dengan kendaraan 1
 terdapat kunjungan dari node 2 ke node 9 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 3 ke node 7 dengan kendaraan 4
 terdapat kunjungan dari node 4 ke node 11 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 5 ke node 2 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 6 ke node 3 dengan kendaraan 4
 terdapat kunjungan dari node 7 ke node 14 dengan kendaraan 4
 terdapat kunjungan dari node 8 ke node 5 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 9 ke node 15 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 10 ke node 4 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 11 ke node 12 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 12 ke node 13 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 13 ke node 16 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 14 ke node 6 dengan kendaraan 4
 terdapat kunjungan dari node 15 ke node 8 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 16 ke node 10 dengan kendaraan 3

Model Class:	MILP
Total variables:	17460
Nonlinear variables:	0
Integer variables:	16916
Total constraints:	4400
Nonlinear constraints:	0



Total nonzeros: 24065
Nonlinear nonzeros: 0

Lampiran 3 Sintaks program dan hasil numerik LINGO 20.0 pada Kasus 3

Sintaks pada Lingo 20.0

```
SETS :
vertex /1..16/: d,p,q,t1,t2;
v0 (vertex) /1/;
v1 (vertex) /2,3,4/;
v2 (vertex) /14,15,16/;
vc (vertex) /5,6,7,8,9,10,11,12,13/;
vs (vertex) | @in(v0,&1) #OR# @in(v1,&1);
v3 (vertex) | #not# @in(v0,&1);
vb (vertex) | @in(vc,&1) #OR# @in(v2,&1);
v0sb (vertex) | #not# @in(vc,&1);
kendaraan /1..4/: b,qk,cf,ck;
k1 (kendaraan) /1/;
k2 (kendaraan) /2,3,4/;
edge (vertex, vertex): dis,y;
verken (vertex, kendaraan): u,bm,bn,a;
croute (vertex, vertex, kendaraan): x;
eroute (vertex, vertex, vertex, kendaraan): z;
ENDSETS

DATA :
!jarak tempuh (km);
dis =
0 33 36 25 52 74 58 33 0 38 57 29 56 62 36 38 0 44 31 42 25 25 57 44 0
69 86 58 52 29 31 69 0 27 46 74 56 42 86 27 0 42 58 62 25 58 46 42 0
73 40 62 95 31 46 77 60 30 68 84 48 73 90 22 51 58 27 73 96 78 47 73
43 28 74 82 44 69 100 77 44 107 116 78 57 90 81 37 106 123 92 85 73 50
93 45 19 39 76 44 75 100 47 66 93 45 77 75 32 96 116 90 !asumsi
kecepatan rata2;
kec = 40;
!kapasitas baterai kendaraan;
b = 0 36 39 25;
!kapasitas kendaraan (kg);
qk = 300 100 115 50;
!demand (kg);
d = 0 0 0 0 15 20 20
!tingkat konsumsi baterai (kwh/km);
h = 0.3;
!biaya perjalanan (rp/km);
cak = 2246;
cbk = 990;
!biaya tetap (rp/kendaraan);
caf = 177550;
cbf = 221738;
```



```
!waktu awal (menit);
p = 480;
!waktu akhir (menit);
q = 780;
!big-m;
m = 100;

!print report;
@text() = @write('total biaya: ', f, @newline(2));
@text() = @writefor(k2(k):
    'total waktu tempuh kendaraan ', k, ': ', @sum(edge(i,j):
@text() = @write(@newline(1));
);
@text() = @writefor(crout(e(i,j,k) | x(i,j,k)#eq#1:
    'terdapat kunjungan dari node ', i, ' ke node ', j, ' deng
);
@text() = @writefor(eroute(i,j,s,k) | z(i,j,s,k)#eq#1:
    'terdapat kunjungan dari node ', i, ' ke node ', j, ' deng
);
@text() = @write(@newline(1));
ENDDATA

!Fungsi Objektif;
f = cak * @sum(k1(k): @sum(v1(i): @sum(v1(j) | i#ne#j : (dis(i,j)* 6
    + cbk * @sum(k2(k): @sum(vs(s): @sum(v2(i): @sum(v2(j) | i
    !+ caf * @sum(k1(k): @sum(vs(j): x(1,j,k)))
    + cbf * @sum(k2(k): @sum(vs(s): @sum(vcb(j): z(s,j,s,k))))
MIN = f;

!J7: kekontinuan rute eselon 1;
@for(v1(j): @for(k1(k):
    @sum(v1(i) | i#ne#j : x(i,j,k)) = @sum(v1(i) | i#ne#j: x(j
));
!J8: satelit dapat dikunjungi lebih dari 1 kali;
@for(vs(j):
    @sum(k1(k): @sum(v1(i) | i#ne#j : x(i,j,k))) >= 1
);
!J9: pengiriman ke satelit kurang dari kapasitas icv;
@for(k1(k):
    @sum(vs(i): u(i,k)) <= qk(k)
);
!J10: lower bound waktu kedatangan eselon 1;
!@for(k1(k): @for(v1(i): @for(vs(j) | i#ne#j :
    t1(j) >= t1(i) + (dis(i,j)* 60 /kec) - m * (1 - x(i,j,k))
));
!J11: upper bound waktu kedatangan eselon 1;
!@for(k1(k): @for(v1(i): @for(vs(j) | i#ne#j :
    t1(j) <= t1(i) + (dis(i,j)* 60 /kec) + m * (1 - x(i,j,k))
));
!J12: waktu kedatangan terakhir di satelit (tidak digunakan);
```



```

!@for(vs(s): t1(s) <= ts);
!J13: kekontinuan rute eselon 2;
@for(v2(j): @for(vs(s): @for(k2(k):
    @sum(v2(i) | i#ne#j : z(i,j,s,k)) = @sum(v2(i) | i#ne#j: z
)));
!J14: pelanggan hanya dapat dikunjungi 1 kali;
@for(vc(j):
    @sum(k2(k): @sum(vs(s): @sum(v2(i) | i#ne#j : z(i,j,s,k)))
);
!J15: total demand pelanggan harus lebih kecil atau sama dengan kapa
@for(vs(s): @for(k2(k):
    @sum(v2(i): @sum(v2(j) | i#ne#j : d(j) * z(i,j,s,k))) <= q
);
!J16: total demand di satelit harus lebih besar atau sama dengan dem
@for(vs(s):
    @sum(k1(k): u(s,k)) >= @sum(k2(k): @sum(v2(i): @sum(v2(j)
);
3
!J17: waktu kedatangan harus di dalam jam operasional konsumen;
!@for(vc(i):
    t2(i) >= p(i);
    !t2(i) <= q(i);
!);
!J18: lower bound waktu kedatangan eselon 2;
!@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(vcb(j) | i#ne#j :
    t2(j) >= t2(i) + (dis(i,j) * 60 /kec) - m * (1 - z(i,j,s,k
))));
!J19: upper bound waktu kedatangan eselon 2;
!@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(vcb(j) | i#ne#j :
    t2(j) <= t2(i) + (dis(i,j) * 60 /kec) + m * (1 - z(i,j,s,k
))));
!J20: baterai tidak berkurang saat di pelanggan;
@for(k2(k): @for(vc(i):
    bn(i,k) = bm(i,k)
));
!J21: baterai full dari depot,satelit,dan spklu;
@for(k2(k): @for(v0sb(i):
    bn(i,k) = b(k) * @sum(vcb(j): @sum(vs(s): z(i,j,s,k)))
));
!J22: batas atas pengurangan baterai saat perjalanan;
@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(v2(j) | i#ne#j :
    bm(j,k) <= bn(i,k) - h * dis(i,j) * z(i,j,s,k) + b(k) * (1
))));
!J23: batas bawah pengurangan baterai saat perjalanan;
@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(v2(j) | i#ne#j :
    bm(j,k) >= bn(i,k) - h * dis(i,j) * z(i,j,s,k) - b(k) * (1
))));
!J24: pembatas bulangan;
@for(vertex(i): @for(kendaraan(k):
    bm(i,k) >= 0;

```

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



```

bn(i,k) >= 0;
));
!J25: pembatas bulangan;
@for(vertex(i): @for(vertex(j): @for(kendaraan(k): @bin(x(i,j,k)) ))
!J26: pembatas bulangan;
@for(vertex(i): @for(vertex(j): @for(vertex(s): @for(kendaraan(k): @
!J27: pembatas bulangan;
@for(vertex(i): @for(kendaraan(k): u(i,k) >= 0 ));
!J28: pembatas bulangan;
!@for(vertex(i):
    t1(i) >= 0;
    !t2(i) >= 0;
!);
!tambahan kendala;
!jika lewat satelit s, maka rutenya punya s;
@for(vs(i): @for(vertex(j): @for(vs(s) | i#ne#s: @for(kendaraan(k):
!setiap mobil listrik hanya bisa dipakai di satu satelit;
@for(vs(s): @for(k2(k):
    @sum(v2(i): @sum(v2(j): z(i,j,s,k))) <= m * a(s,k);
    @bin(a(s,k));
));
@for(k2(k):
    @sum(vs(s): a(s,k)) <= 1;
);
!koneksi waktu di eselon 1 dan 2;
!@for(vs(i): @for(vcb(j):
    t2(j) <= t1(i) + (dis(i,j)* 60 /kec) + m * (1 - @sum(k2(k)
));
!perjalanan dari dan ke titik yang sama tidak diperbolehkan;
@for(vs(s): @for(k2(k): @for(v2(i):
    z(i,i,s,k) = 0
));
!waktu total perjalanan eselon 1;
@for(k1(k):
    @sum(v1(i): @sum(vs(j) | i#ne#j : (dis(i,j)* 60 /kec) * x(
);
!waktu total perjalanan eselon 2;
@for(k2(k): @for(vs(s):
    @sum(v2(i): @sum(vcb(j) | i#ne#j : (dis(i,j) * 60 /kec) *
));
!perjalanan eselon 2 harus dimulai dari satelit;
@for(vs(s):
@sum(vcb(j): @sum(k2(k): z(s,j,s,k))) = 1
);
!kendala subtur eselon 2;
@for(vcb(i): @for(vcb(j):
    t2(j) + m * (1 - @sum(vs(s): @sum(k2(k): z(i,j,s,k)))) > t
));
@for(vcb(i): t2(i) >= 0);
!kendala hubungan muatan dan rute eselon 1;

```

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



```
@for(k1(k): @for(vs(s):
    u(s,k) <= qk(k) * @sum(v1(i): x(i,s,k))
));
!kendala subtur eselon 1;
@for(vs(i): @for(vs(j):
    t1(j) + m * (1 - @sum(k1(k): x(i,j,k))) > t1(i) + 1
);
@for(vs(i): t1(i) >= 0);
```

Hasil Numerik

Global optimal solution found.

Objective value:	1210194.
Objective bound:	1210194.
Infeasibilities:	0.000000
Extended solver steps:	95527
Total solver iterations:	3986575
Elapsed runtime seconds:	1037.71

total biaya: 1210194

terdapat kunjungan dari node 1 ke node 2 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 1 ke node 3 dengan kendaraan 1
 terdapat kunjungan dari node 2 ke node 1 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 3 ke node 4 dengan kendaraan 1
 terdapat kunjungan dari node 4 ke node 1 dengan kendaraan 1
 terdapat kunjungan dari node 2 ke node 5 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 3 ke node 7 dengan kendaraan 5
 terdapat kunjungan dari node 5 ke node 8 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 6 ke node 3 dengan kendaraan 5
 terdapat kunjungan dari node 7 ke node 14 dengan kendaraan 5
 terdapat kunjungan dari node 8 ke node 15 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 9 ke node 2 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 10 ke node 16 dengan kendaraan 4
 terdapat kunjungan dari node 12 ke node 11 dengan kendaraan 4
 terdapat kunjungan dari node 13 ke node 12 dengan kendaraan 4
 terdapat kunjungan dari node 14 ke node 6 dengan kendaraan 5
 terdapat kunjungan dari node 15 ke node 9 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 16 ke node 13 dengan kendaraan 4

Model Class: MILP

Total variables:	21782
Nonlinear variables:	0
Integer variables:	21172
Total constraints:	4457
Nonlinear constraints:	0

Total nonzeros: 24197
Nonlinear nonzeros: 0

Lampiran 4 Sintaks program dan hasil numerik LINGO 20.0 pada Kasus 4

Sintaks pada Lingo 20.0

```
SETS :
vertex /1..15/: d,p,q,t1,t2;
v0 (vertex) /1/;
vs (vertex) /2,3/;
vb (vertex) /13,14,15/;
vc (vertex) /4,5,6,7,8,9,10,11,12/;
v1 (vertex) | @in(v0,&1) #OR# @in(vs,&1);
v2 (vertex) | #not# @in(v0,&1);
vcb (vertex) | @in(vc,&1) #OR# @in(vb,&1);
v0sb (vertex) | #not# @in(vc,&1);
kendaraan /1..3/: b,qk,cf,ck;
k1 (kendaraan) /1/;
k2 (kendaraan) /2,3/;
edge (vertex, vertex): dis,y;
verken (vertex, kendaraan): u,bm,bn,a;
croute (vertex, vertex, kendaraan): x;
eroute (vertex, vertex, vertex, kendaraan): z;
ENDSETS

DATA :
!jarak tempuh (km);
dis =
0 36 25 52 74 58 73 36 0 44 31 42 25 62 25 44 0 69 86 58 95 52 31 69 0
27 46 31 74 42 86 27 0 42 46 58 25 58 46 42 0 77 73 62 95 31 46 77 0
60 68 84 48 73 90 35 22 58 27 73 96 78 91 47 43 28 74 82 44 104 69 77
44 107 116 78 135 57 81 37 106 123 92 130 85 50 93 45 19 39 65 76 75
100 47 66 93 20 45 75 32 96 116 90 117 !asumsi kecepatan rata2;
kec = 40;
!kapasitas baterai kendaraan;
b = 0 64 52;
!kapasitas kendaraan (kg);
qk = 320 180 140;
!demand (kg);
d = 0 0 0 25 20 35 30
!tingkat konsumsi baterai (kwh/km);
h = 0.3;
!biaya perjalanan (rp/km);
cak = 2246;
cbk = 990;
!biaya tetap (rp/kendaraan);
caf = 177550;
cbf = 221738;
!waktu awal (menit);
```



```

p = 480;
!waktu akhir (menit);
q = 780;
!big-m;
m = 100;

!print report;
@text() = @write('total biaya: ', f, @newline(2));
@text() = @writefor(k2(k):
    'total waktu tempuh kendaraan ', k, ': ', @sum(edge(i,j):
@text() = @write(@newline(1));
)
@text() = @writefor(croute(i,j,k) | x(i,j,k)#eq#1:
    'terdapat kunjungan dari node ', i, ' ke node ', j, ' deng
)
@text() = @writefor(eroute(i,j,s,k) | z(i,j,s,k)#eq#1:
    'terdapat kunjungan dari node ', i, ' ke node ', j, ' deng
);
@text() = @write(@newline(1));
ENDDATA

!Fungsi Objektif;
f = cak * @sum(k1(k): @sum(v1(i): @sum(v1(j) | i#ne#j : (dis(i,j)* 6
    + cbk * @sum(k2(k): @sum(vs(s): @sum(v2(i): @sum(v2(j) | i
    !+ caf * @sum(k1(k): @sum(vs(j): x(1,j,k)))
    + cbf * @sum(k2(k): @sum(vs(s): @sum(vcb(j): z(s,j,s,k))))
MIN = f;
!J7: kekontinuan rute eselon 1;
@for(v1(j): @for(k1(k):
@sum(v1(i) | i#ne#j : x(i,j,k)) = @sum(v1(i) | i#ne#j: x(j
));
!J8: satelit dapat dikunjungi lebih dari 1 kali;
@for(vs(j):
    @sum(k1(k): @sum(v1(i) | i#ne#j : x(i,j,k))) >= 1
);
!J9: pengiriman ke satelit kurang dari kapasitas icv;
@for(k1(k):
    @sum(vs(i): u(i,k)) <= qk(k)
);
!J10: lower bound waktu kedatangan eselon 1;
!@for(k1(k): @for(v1(i): @for(vs(j) | i#ne#j :
    t1(j) >= t1(i) + (dis(i,j)* 60 /kec) - m * (1 - x(i,j,k))
));
!J11: upper bound waktu kedatangan eselon 1;
!@for(k1(k): @for(v1(i): @for(vs(j) | i#ne#j :
    t1(j) <= t1(i) + (dis(i,j)* 60 /kec) + m * (1 - x(i,j,k))
));
!J12: waktu kedatangan terakhir di satelit (tidak digunakan);
!@for(vs(s): t1(s) <= ts);
!J13: kekontinuan rute eselon 2;

```



```

@for(v2(j): @for(vs(s): @for(k2(k):
    @sum(v2(i) | i#ne#j : z(i,j,s,k)) = @sum(v2(i) | i#ne#j: z
)));
!J14: pelanggan hanya dapat dikunjungi 1 kali;
@for(vc(j):
    @sum(k2(k): @sum(vs(s): @sum(v2(i) | i#ne#j : z(i,j,s,k)))
);
!J15: total demand pelanggan harus lebih kecil atau sama dengan kapa
@for(vs(s): @for(k2(k):
    @sum(v2(i): @sum(v2(j) | i#ne#j : d(j) * z(i,j,s,k))) <= q
);
!J16: total demand di satelit harus lebih besar atau sama dengan dem
@for(vs(s):
    @sum(k1(k): u(s,k)) >= @sum(k2(k): @sum(v2(i): @sum(v2(j)
);
!J17: waktu kedatangan harus di dalam jam operasional konsumen;
!@for(vc(i):
    t2(i) >= p(i);
    !t2(i) <= q(i);
!);
!J18: lower bound waktu kedatangan eselon 2;
!@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(vcb(j) | i#ne#j :
    t2(j) >= t2(i) + (dis(i,j) * 60 /kec) - m * (1 - z(i,j,s,k
))));
!J19: upper bound waktu kedatangan eselon 2;
!@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(vcb(j) | i#ne#j :
    t2(j) <= t2(i) + (dis(i,j) * 60 /kec) + m * (1 - z(i,j,s,k
))));
!J20: baterai tidak berkurang saat di pelanggan;
@for(k2(k): @for(vc(i):
    bn(i,k) = bm(i,k)
);
!J21: baterai full dari depot,satelit,dan spklu;
@for(k2(k): @for(v0sb(i):
    bn(i,k) = b(k) * @sum(vcb(j): @sum(vs(s): z(i,j,s,k)))
);
!J22: batas atas pengurangan baterai saat perjalanan;
@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(v2(j) | i#ne#j :
    bm(j,k) <= bn(i,k) - h * dis(i,j) * z(i,j,s,k) + b(k) * (1
));
!J23: batas bawah pengurangan baterai saat perjalanan;
@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(v2(j) | i#ne#j :
    bm(j,k) >= bn(i,k) - h * dis(i,j) * z(i,j,s,k) - b(k) * (1
));
!J24: pembatas bulangan;
@for(vertex(i): @for(kendaraan(k):
    bm(i,k) >= 0;
bn(i,k) >= 0;
);
!J25: pembatas bulangan;

```



```

@for(vertex(i): @for(vertex(j): @for(kendaraan(k): @bin(x(i,j,k)) ))
!J26: pembatas bulangan;
@for(vertex(i): @for(vertex(j): @for(vertex(s): @for(kendaraan(k): @
!J27: pembatas bulangan;
@for(vertex(i): @for(kendaraan(k): u(i,k) >= 0 ));
!J28: pembatas bulangan;
!@for(vertex(i):
    t1(i) >= 0;
    !t2(i) >= 0;
!);
!tambahan kendala;
!jika lewat satelit s, maka rutenya punya s;
@for(vs(i): @for(vertex(j): @for(vs(s) | i#ne#s: @for(kendaraan(k):
!setiap mobil listrik hanya bisa dipakai di satu satelit;
@for(vs(s): @for(k2(k):
    @sum(v2(i): @sum(v2(j): z(i,j,s,k))) <= m * a(s,k);
    @bin(a(s,k));
));
@for(k2(k):
    @sum(vs(s): a(s,k)) <= 1;
);
!koneksi waktu di eselon 1 dan 2;
!@for(vs(i): @for(vcb(j):
    t2(j) <= t1(i) + (dis(i,j)* 60 /kec) + m * (1 - @sum(k2(k)
));
!perjalanan dari dan ke titik yang sama tidak diperbolehkan;
@for(vs(s): @for(k2(k): @for(v2(i):
    z(i,i,s,k) = 0
));
!waktu total perjalanan eselon 1;
@for(k1(k):
    @sum(v1(i): @sum(vs(j) | i#ne#j : (dis(i,j)* 60 /kec) * x(
);
!waktu total perjalanan eselon 2;
@for(k2(k): @for(vs(s):
    @sum(v2(i): @sum(vcb(j) | i#ne#j : (dis(i,j) * 60 /kec) *
));
!perjalanan eselon 2 harus dimulai dari satelit;
@for(vs(s):
    @sum(vcb(j): @sum(k2(k): z(s,j,s,k))) = 1
);
!kendala subtur eselon 2;
@for(vcb(i): @for(vcb(j):
    t2(j) + m * (1 - @sum(vs(s): @sum(k2(k): z(i,j,s,k)))) > t
));
@for(vcb(i): t2(i) >= 0);
!kendala hubungan muatan dan rute eselon 1;
@for(k1(k): @for(vs(s):
    u(s,k) <= qk(k) * @sum(v1(i): x(i,s,k))
));

```

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



```
!kendala subtur eselon 1;
@for(vs(i): @for(vs(j):
    t1(j) + m * (1 - @sum(k1(k): x(i,j,k))) > t1(i) + 1
));
@for(vs(i): t1(i) >= 0);
```

Hasil Numerik

Global optimal solution found.

Objective value:	952200.0
Objective bound:	952200.0
Infeasibilities:	0.000000
Extended solver steps:	1168
Total solver iterations:	164794
Elapsed runtime seconds:	26.94

total biaya: 952200

terdapat kunjungan dari node 1 ke node 2 dengan kendaraan 1
 terdapat kunjungan dari node 2 ke node 3 dengan kendaraan 1
 terdapat kunjungan dari node 3 ke node 1 dengan kendaraan 1
 terdapat kunjungan dari node 2 ke node 6 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 3 ke node 9 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 4 ke node 7 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 5 ke node 4 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 6 ke node 5 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 7 ke node 14 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 8 ke node 2 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 9 ke node 12 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 10 ke node 3 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 11 ke node 10 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 12 ke node 11 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 14 ke node 8 dengan kendaraan 2

Model Class: MILP

Total variables: 11100
 Nonlinear variables: 0
 Integer variables: 10662

Total constraints: 1881
 Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 10161
 Nonlinear nonzeros: 0

Lampiran 5 Sintaks program dan hasil numerik LINGO 20.0 pada Kasus 5 Sintaks pada Lingo 20.0

SETS :

```
vertex /1..15/: d,p,q,t1,t2;
v0 (vertex) /1/;
vs (vertex) /2,3/;
vb (vertex) /13,14,15/;
vc (vertex) /4,5,6,7,8,9,10,11,12/;
v1 (vertex) | @in(v0,&1) #OR# @in(vs,&1);
v2 (vertex) | #not# @in(v0,&1);
vcb (vertex) | @in(vc,&1) #OR# @in(vb,&1);
vosb (vertex) | #not# @in(vc,&1);
kendaraan /1..3/: b,qk,cf,ck;
k1 (kendaraan) /1/;
k2 (kendaraan) /2,3/;
edge (vertex, vertex): dis,y;
verken (vertex, kendaraan): u,bm,bn,a;
croute (vertex, vertex, kendaraan): x;
eroute (vertex, vertex, vertex, kendaraan): z;
```

ENDSETS

DATA :

```
!jarak tempuh (km);
dis =
0 36 25 52 74 58 73 36 0 44 31 42 25 62 25 44 0 69 86 58 95 52 31 69 0
27 46 31 74 42 86 27 0 42 46 58 25 58 46 42 0 77 73 62 95 31 46 77 0
60 68 84 48 73 90 35 22 58 27 73 96 78 91 47 43 28 74 82 44 104 69 77
44 107 116 78 135 57 81 37 106 123 92 130 85 50 93 45 19 39 65 76 75
100 47 66 93 20 45 75 32 96 116 90 117 !asumsi kecepatan rata2;
kec = 40;
!kapasitas baterai kendaraan;
b = 0 42 39;
!kapasitas kendaraan (kg);
qk = 320 180 140;
!demand (kg);
d = 0 0 0 25 20 35 30
!tingkat konsumsi baterai (kwh/km);
h = 0.3;
!biaya perjalanan (rp/km);
cak = 2246;
cbk = 990;
!biaya tetap (rp/kendaraan);
caf = 177550;
cbf = 221738;
!waktu awal (menit);
p = 480;
!waktu akhir (menit);
```



```

q = 780;
!big-m;
m = 100;
!print report;
@text() = @write('total biaya: ', f, @newline(2));
@text() = @writefor(k2(k):
    'total waktu tempuh kendaraan ', k, ': ', @sum(edge(i,j):
@text() = @write(@newline(1));
    );
@text() = @writefor(croutel(i,j,k) | x(i,j,k)#eq#1:
    'terdapat kunjungan dari node ', i, ' ke node ', j, ' deng
    );
@text() = @writefor(eroutel(i,j,s,k) | z(i,j,s,k)#eq#1:
    'terdapat kunjungan dari node ', i, ' ke node ', j, ' deng
    );
@text() = @write(@newline(1));

ENDDATA

!Fungsi Objektif;
f = cak * @sum(k1(k): @sum(v1(i): @sum(v1(j) | i#ne#j : (dis(i,j)* 6
    + cbk * @sum(k2(k): @sum(vs(s): @sum(v2(i): @sum(v2(j) | i
    !+ caf * @sum(k1(k): @sum(vs(j): x(1,j,k)))
    + cbf * @sum(k2(k): @sum(vs(s): @sum(vcb(j): z(s,j,s,k))))

MIN = f;

!J7: kekontinuan rute eselon 1;
@for(v1(j): @for(k1(k):
@sum(v1(i) | i#ne#j : x(i,j,k)) = @sum(v1(i) | i#ne#j: x(j
));
!J8: satelit dapat dikunjungi lebih dari 1 kali;
@for(vs(j):
    @sum(k1(k): @sum(v1(i) | i#ne#j : x(i,j,k))) >= 1
);
!J9: pengiriman ke satelit kurang dari kapasitas icv;
@for(k1(k):
    @sum(vs(i): u(i,k)) <= qk(k)
);
!J10: lower bound waktu kedatangan eselon 1;
!@for(k1(k): @for(v1(i): @for(vs(j) | i#ne#j :
    t1(j) >= t1(i) + (dis(i,j)* 60 /kec) - m * (1 - x(i,j,k))
));
!J11: upper bound waktu kedatangan eselon 1;
!@for(k1(k): @for(v1(i): @for(vs(j) | i#ne#j :
    t1(j) <= t1(i) + (dis(i,j)* 60 /kec) + m * (1 - x(i,j,k))
));
!J12: waktu kedatangan terakhir di satelit (tidak digunakan);
!@for(vs(s): t1(s) <= ts);
!J13: kekontinuan rute eselon 2;

```



```
@for(v2(j): @for(vs(s): @for(k2(k):  
    @sum(v2(i) | i#ne#j : z(i,j,s,k)) = @sum(v2(i) | i#ne#j: z  
)));  
!J14: pelanggan hanya dapat dikunjungi 1 kali;  
@for(vc(j):  
    @sum(k2(k): @sum(vs(s): @sum(v2(i) | i#ne#j : z(i,j,s,k)))  
);  
!J15: total demand pelanggan harus lebih kecil atau sama dengan kapa  
@for(vs(s): @for(k2(k):  
    @sum(v2(i): @sum(v2(j) | i#ne#j : d(j) * z(i,j,s,k))) <= q  
);  
!J16: total demand di satelit harus lebih besar atau sama dengan dem  
@for(vs(s):  
    @sum(k1(k): u(s,k)) >= @sum(k2(k): @sum(v2(i): @sum(v2(j)  
);  
!J17: waktu kedatangan harus di dalam jam operasional konsumen;  
3  
!@for(vc(i):  
    t2(i) >= p(i);  
    !t2(i) <= q(i);  
!);  
!J18: lower bound waktu kedatangan eselon 2;  
!@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(vcb(j) | i#ne#j :  
    t2(j) >= t2(i) + (dis(i,j) * 60 /kec) - m * (1 - z(i,j,s,k  
))));  
!J19: upper bound waktu kedatangan eselon 2;  
!@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(vcb(j) | i#ne#j :  
    t2(j) <= t2(i) + (dis(i,j) * 60 /kec) + m * (1 - z(i,j,s,k  
))));  
!J20: baterai tidak berkurang saat di pelanggan;  
@for(k2(k): @for(vc(i):  
    bn(i,k) = bm(i,k)  
));  
!J21: baterai full dari depot,satelit,dan spklu;  
@for(k2(k): @for(v0sb(i):  
    bn(i,k) = b(k) * @sum(vcb(j): @sum(vs(s): z(i,j,s,k)))  
));  
!J22: batas atas pengurangan baterai saat perjalanan;  
@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(v2(j) | i#ne#j :  
    bm(j,k) <= bn(i,k) - h * dis(i,j) * z(i,j,s,k) + b(k) * (1  
))));  
!J23: batas bawah pengurangan baterai saat perjalanan;  
@for(k2(k): @for(vs(s): @for(v2(i): @for(v2(j) | i#ne#j :  
    bm(j,k) >= bn(i,k) - h * dis(i,j) * z(i,j,s,k) - b(k) * (1  
))));  
!J24: pembatas bulangan;  
@for(vertex(i): @for(kendaraan(k):  
    bm(i,k) >= 0;  
bn(i,k) >= 0;  
));
```



```

!J25: pembatas bulangan;
@for(vertex(i): @for(vertex(j): @for(kendaraan(k): @bin(x(i,j,k)) ))
!J26: pembatas bulangan;
@for(vertex(i): @for(vertex(j): @for(vertex(s): @for(kendaraan(k): @
4
!J27: pembatas bulangan;
@for(vertex(i): @for(kendaraan(k): u(i,k) >= 0 ));
!J28: pembatas bulangan;
!@for(vertex(i):
    t1(i) >= 0;
    !t2(i) >= 0;
!);
!tambahan kendala;
!jika lewat satelit s, maka rutenya punya s;
@for(vs(i): @for(vertex(j): @for(vs(s) | i#ne#s: @for(kendaraan(k):
!Setiap mobil listrik hanya bisa dipakai di satu satelit;
@for(vs(s): @for(k2(k):
    @sum(v2(i): @sum(v2(j): z(i,j,s,k))) <= m * a(s,k);
    @bin(a(s,k));
));
@for(k2(k):
    @sum(vs(s): a(s,k)) <= 1;
);
!koneksi waktu di eselon 1 dan 2;
!@for(vs(i): @for(vcb(j):
    t2(j) <= t1(i) + (dis(i,j)* 60 /kec) + m * (1 - @sum(k2(k)
));
!perjalanan dari dan ke titik yang sama tidak diperbolehkan;
@for(vs(s): @for(k2(k): @for(v2(i):
    z(i,i,s,k) = 0
));
!waktu total perjalanan eselon 1;
@for(k1(k):
    @sum(v1(i): @sum(vs(j) | i#ne#j : (dis(i,j)* 60 /kec) * x(
);
!waktu total perjalanan eselon 2;
@for(k2(k): @for(vs(s):
    @sum(v2(i): @sum(vcb(j) | i#ne#j : (dis(i,j) * 60 /kec) *
));
!perjalanan eselon 2 harus dimulai dari satelit;
@for(vs(s):
    @sum(vcb(j): @sum(k2(k): z(s,j,s,k))) = 1
5
);
!kendala subtur eselon 2;
@for(vcb(i): @for(vcb(j):
    t2(j) + m * (1 - @sum(vs(s): @sum(k2(k): z(i,j,s,k)))) > t
));
@for(vcb(i): t2(i) >= 0);
!kendala hubungan muatan dan rute eselon 1;

```



```
@for(k1(k): @for(vs(s):
    u(s,k) <= qk(k) * @sum(v1(i): x(i,s,k))
));
!kendala subtur eselon 1;
@for(vs(i): @for(vs(j):
    t1(j) + m * (1 - @sum(k1(k): x(i,j,k))) > t1(i) + 1
);
@for(vs(i): t1(i) >= 0);
```

Hasil Numerik

Global optimal solution found.

Objective value:	955170.0
Objective bound:	955170.0
Infeasibilities:	0.000000
Extended solver steps:	2090
Total solver iterations:	247507
Elapsed runtime seconds:	38.62

total biaya: 955170

terdapat kunjungan dari node 1 ke node 2 dengan kendaraan 1
 terdapat kunjungan dari node 2 ke node 3 dengan kendaraan 1
 terdapat kunjungan dari node 3 ke node 1 dengan kendaraan 1
 terdapat kunjungan dari node 2 ke node 6 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 3 ke node 10 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 4 ke node 7 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 5 ke node 4 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 6 ke node 5 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 7 ke node 14 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 8 ke node 2 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 9 ke node 3 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 10 ke node 11 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 11 ke node 12 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 12 ke node 15 dengan kendaraan 3
 terdapat kunjungan dari node 14 ke node 8 dengan kendaraan 2
 terdapat kunjungan dari node 15 ke node 9 dengan kendaraan 3

Model Class: MILP

Total variables:	11100
Nonlinear variables:	0
Integer variables:	10662
Total constraints:	1881
Nonlinear constraints:	0
Total nonzeros:	10157
Nonlinear nonzeros:	0