

Pertemuan 1

Pengantar Perangkat Lunak Ketekniksipilan (Transportasi)

Muhammad Zudhy Irawan

1

PENDAHULUAN

- Secara umum, perangkat lunak di bidang transportasi (Teknik Sipil) dikategorikan dalam 2 bidang ilmu transportasi:
 1. Sistem Transportasi (Pertemuan 1)
 2. Teknik Transportasi (Pertemuan 2)
- Karena ilmu transportasi sangat luas, masih banyak software di bidang transportasi selain 2 kategori di atas. Namun, software tersebut umumnya dioperasikan di bidang lain: misalnya Teknik industri mengenai supply chain management
- Walaupun digunakan di bidang transportasi (Teknik sipil), software yang digunakan pun ada yang mengacu pada teori-teori dari bidang ekonomi, (misalnya mengenai discrete choice model: biogeme, apollo, nlogit) maupun bidang psikologi (misalnya mengenai barrier and ability: winsteps)

2

Contoh Anylogic:

AnyLogic simulation software is used in these industries:



Supply Chains



Manufacturing



Transportation



Warehouse Operations



Rail Logistics



Mining



Oil & Gas



Ports & Terminals

SUPPLY CHAINS

MANUFACTURING

TRANSPORTATION

WAREHOUSE OPERATIONS

RAIL LOGISTICS

MINING

OIL & GAS

PORTS & TERMINALS

ROAD TRAFFIC

PASSENGER TERMINALS

HEALTHCARE

BUSINESS PROCESSES

ASSET MANAGEMENT

MARKETING

SOCIAL PROCESSES

DEFENSE

3

PENDAHULUAN

- Mengapa diperlukan software di bidang sistem transportasi?
 1. Complex dimensional factors yang tidak mudah ditentukan
 2. Untuk mengukur dan mengestimasi secara langsung
- Contoh yang diestimasi
 1. Dampak pembangunan jalan baru
 2. Dampak operasional MRT
- Yang diestimasi meliputi
 1. Kinerja dari sistem transportasi yang baru tersebut
 2. Dampak lingkungan dan potensi pendapatan
 3. Dampak terhadap tata guna lahan

4

PENDAHULUAN

- ▶ Perangkat lunak di bidang sistem transportasi terkait dengan setiap Langkah dalam pemodelan 4 tahap: Bangkitan Perjalanan, Distribusi Perjalanan, Pemilihan Moda, dan Pemilihan Rute
- ▶ Pemilihan penggunaan software sangat tergantung pada:
 1. skala yang akan dimodelkan
 2. tujuan dari menggunakan software tersebut
- ▶ Namun, beberapa catatan terkait perangkat lunak di bidang transportasi:
 1. Bukan *software* yang sempurna, karena kompleksitas ilmu transportasi
 2. Hasil sangat tergantung pada metode, *judgments* dan asumsi-asumsi yang digunakan
 3. Bisa membangun sendiri model yang diharapkan dengan software yang ada (misal dengan netlogo membuat estimasi penyebaran COVID-19)

5

Contoh Netlogo:

The screenshot displays the NetLogo environment for a model titled "Pemodelan Pergerakan Orang dan Penyebaran COVID-19" (Modeling Human Movement and COVID-19 Spread) at the Pusat Studi Transportasi dan Logistik (PUSTRAL) UGM. The interface is divided into several sections:

- INPUT FUNGSI (FUNCTION INPUTS):**
 - A. fungsi (BANKWA): % zona merah COVID-19: 25%
 - B. fungsi (KERENTAMAN): % ketahanan tubuh: 70%, % ketahanan tubuh - sedikit: 48%
 - B2. fungsi (DISTRIBUSI ALIHAN): 1. fungsi (RUBING): Asumsi seperti pergerakan di blok jalan (alat di dalam) + kapasitas (barang): 22 x 32 meter; 2. fungsi (Jumlah PENUMPANG): Jumlah Penumpang: 40; C. fungsi (APASITAS): % pembatasan pergerakan: 27%, % pembatasan protokol: 85%
- OUTPUT:** Penumpang tergeif COVID-19: 0
- Code Editor:** Contains NetLogo code for turtle movement and infection status. Key code snippets include:


```

[ sick? ] ; jika true, terinfeksi
die! ; jika true, > 60 tahun
my-chance-recover ;
removing-immunity ;
sick-time ;
age ;
allowed-movement? ]

globals [
  %infected ; % populasi terinfeksi/sakit
  %immune ; % populasi immune
  lifespan ;
  immunity-duration ;
  ended-simulation? ] ; jika tidak ada yang sakit, stop simulasi

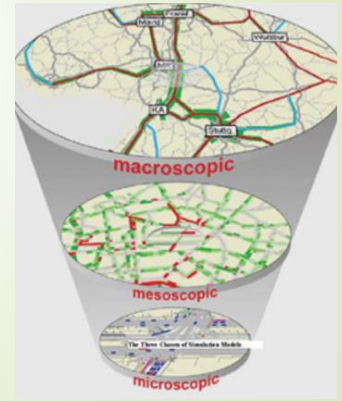
to setup
  clear-all
  setup-constants
  setup-turtles
  update-global-variables
  update-display
  reset-ticks
end

;; membuat variable number
;; dan terdistribusi secara random
to setup-turtles
  create-turtles jumlah-penumpang
  [ setxy random-ncor random-ycor
    set age random lifespan
    ifelse age > 365 * 60 [ set old? true ] [ set old? false ]
    set sick-time 0
    set remaining-immunity 0
    set size 1.5 ;; easier to see
    get-healthly
    ifelse random 100 > %pembatasan-pergerakan [set allowed-movement? true] [set allowed-movement? false] ]
  ask n-of 1 turtles
  [ get-sick ]
end
      
```

6

PENDAHULUAN

- Berdasarkan tujuannya, dikategorikan menjadi:
 1. Software untuk optimasi
 2. Software untuk simulasi (deterministik, stokastik, agent based)
 3. Software untuk peramalan travel demand
- Berdasarkan skalanya, software yang digunakan dapat dikategorikan menjadi:
 1. Mikro
 2. Meso
 3. Makro



7

MODEL MAKROSKOPIS

- Mempertimbangkan variable jaringan jalan seperti kapasitas, kecepatan saat arus bebas
- Zona besar (terdiri dari beberapa kelurahan/kecamatan/kabupaten)
- Tidak mempertimbangkan geometri jalan
- Tidak membutuhkan informasi seperti siklus/fase di simpang
- Teori agregat (tidak per-individu kendaraan)

8

MODEL MESOKOPIS

- ▀ Mempertimbangkan geometri jalan dan lampu sinyal di simpang
- ▀ Mensimulasikan beberapa simpang dalam koridor jalan di suatu kota
- ▀ Mempertimbangkan per individu kendaraan
- ▀ Besarnya aktivitas (bangkitan perjalanan) didasarkan pada level aggregate / makroskopis

9

MODEL MIKROSKOPIS

- ▀ Mensimulasikan karakteristik dan interaksi per individu kendaraan
- ▀ Studi kasus hanya di satu simpang atau segmen jalan saja
- ▀ Mengikuti teori car following, akselerasi kendaraan, manuver menyiap, dan perubahan lajur

10

SOFTWARE UNTUK OPTIMASI

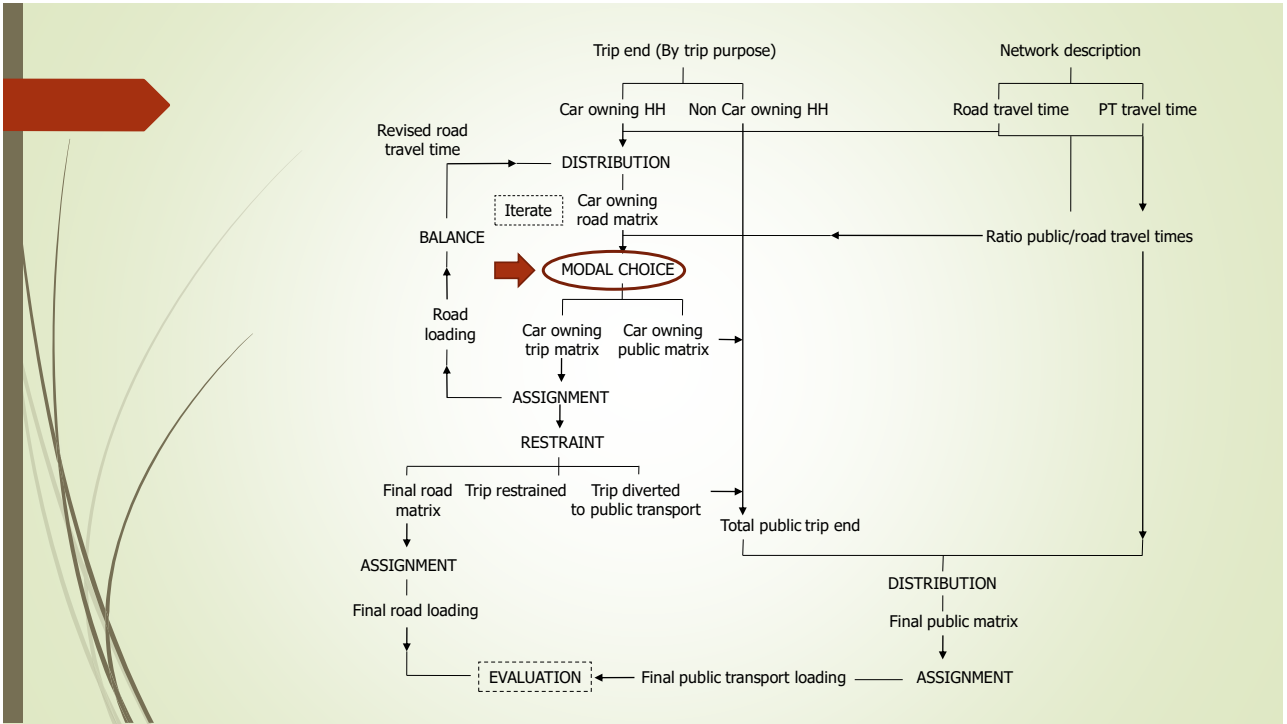
- Skala Makro
- Sering disebut juga dengan bidang ilmu: decision-making process
- Menganalisis ke pergerakan (kendaraan/barang) yang paling optimum, misalnya pada kasus:
 1. Travel salesmen problem
 2. Optimasi waktu hijau pada simpang terkoordinasi (misal dengan TRANSYT)
 3. Warehouse operation optimization (misal dengan Anylogic)

11

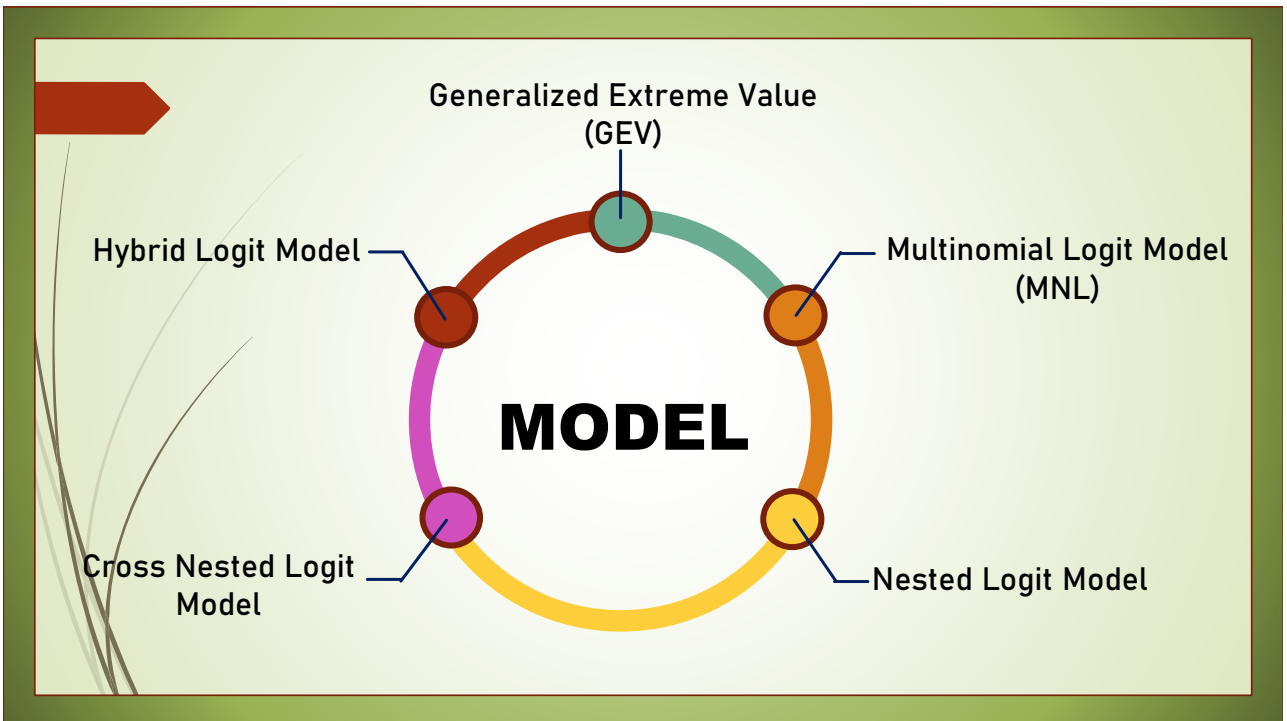
SOFTWARES UNTUK MODE CHOICE MODEL

- Merupakan tahap ke-3 dalam pemodelan transportasi
- Digunakan untuk mengestimasi demand terkait fasilitas angkutan umum: bus, MRT, LRT, dll.
- Mengestimasi fungsi utilitas di masing-masing moda kendaraan, yang kemudian coefisiennya dimasukkan ke dalam software lain (misalnya ke software VISUM)

12



13



14

SOFTWARES UNTUK MODE CHOICE MODEL



15

BIOGEME

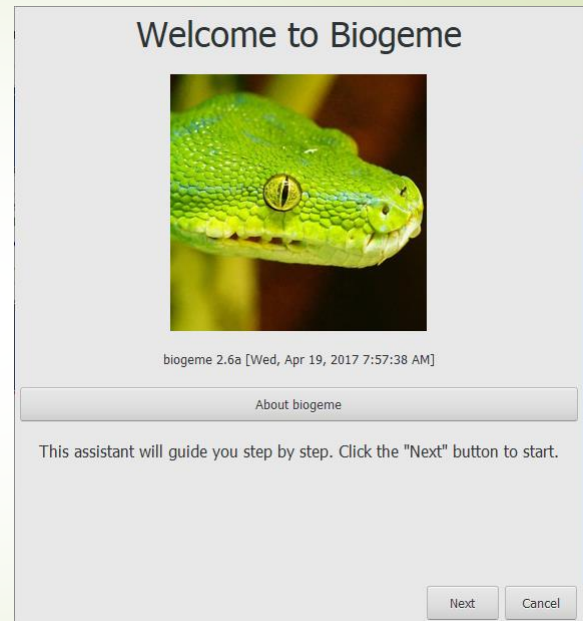
(Bierlaire's Optimization package for GEV Model Estimation)

Sebuah *open source package* yang dirancang untuk memperkirakan berbagai utilitas bilangan acak yang berdasarkan nilai maximum likelihood.

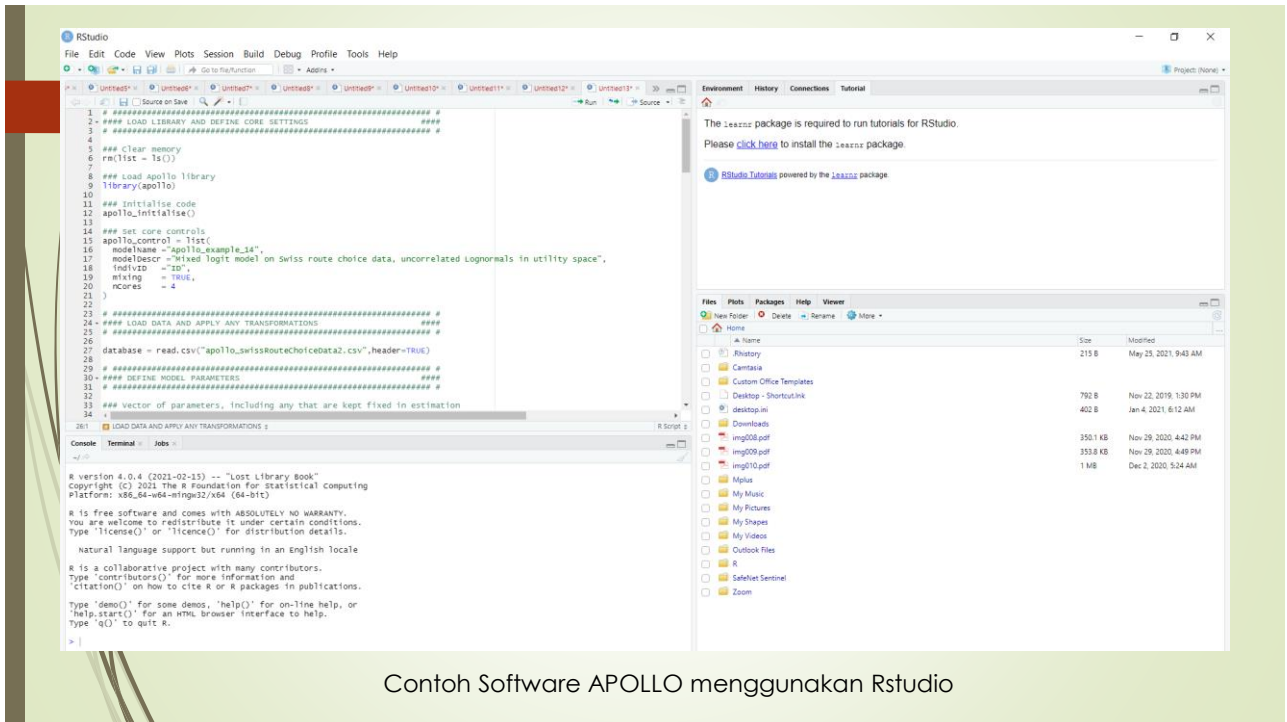
- Pythonbiogeme
- Bisonbiogeme
- Biosim
- mod2py

Contoh menggunakan Biogeme :

- Perkiraan kebutuhan transportasi
- Pemodelan keputusan individual
 - Pemilihan moda transportasi
 - Pemilihan lokasi tempat tinggal
 - Pemilihan lokasi parkir
 - Pemilihan rencana perjalanan



16



Contoh Software APOLLO menggunakan Rstudio

17

SIMULASI MAKRO ARUS LALU LINTAS

- Mengasumsikan kendaraan seperti aliran air
- Berdasarkan pada hitungan Manual Kapasitas Jalan (memasukkan data kapasitas jalan dan kecepatan arus bebas)
- Metode traffic assignment sangat tergantung pada masing-masing software
- Bahkan, seperti Emme, ada feature untuk memasukkan volume-delay function ke dalam software nya

18

SOFTWARE SIMULASI MESO- MAKRO ARUS LALU LINTAS

PTV VISUM
the mind of movement



Emme/3

SATURN

TransCAD
Transportation Planning Software

19

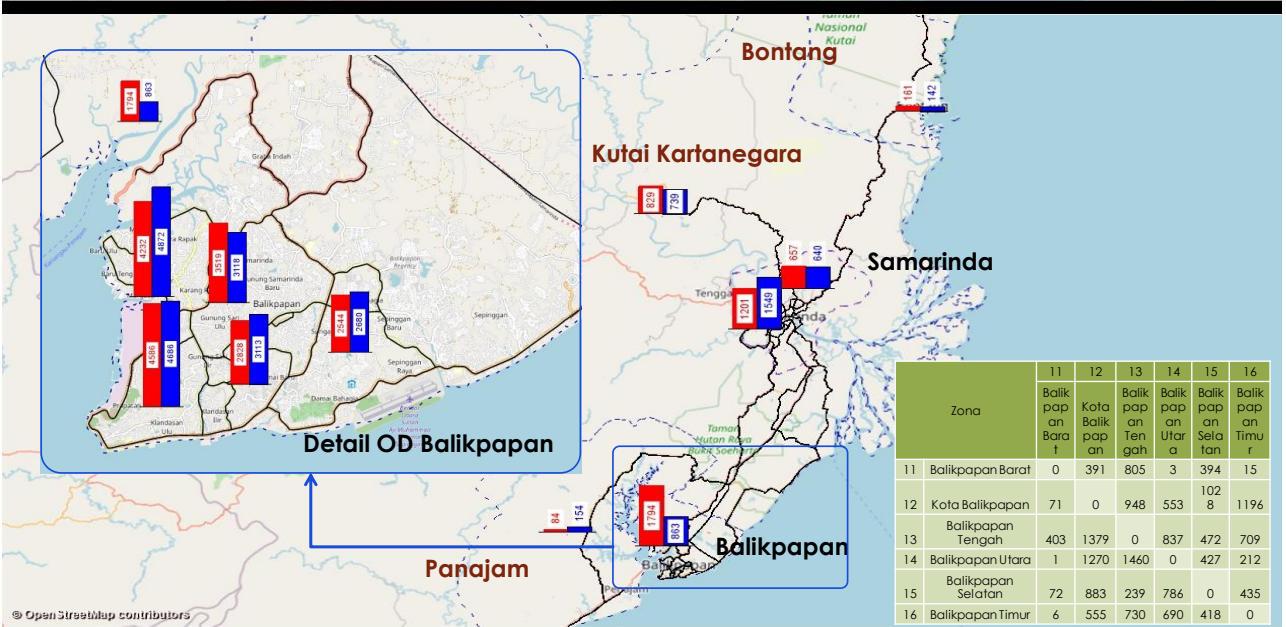
SOFTWARE SIMULASI MESO- MAKRO ARUS LALU LINTAS



- CUBE Voyager for macroscopic movement of people and vehicles
- CUBE Avenue for mesoscopic traffic modeling
- CUBE Cargo for freight modeling
- CUBE Land for land-use modeling
- CUBE Dynasim for microscopic traffic simulation
- CUBE Access for metrics on people's accessibility to valued destinations, such as employment, health services, transportation hubs, and entertainment.

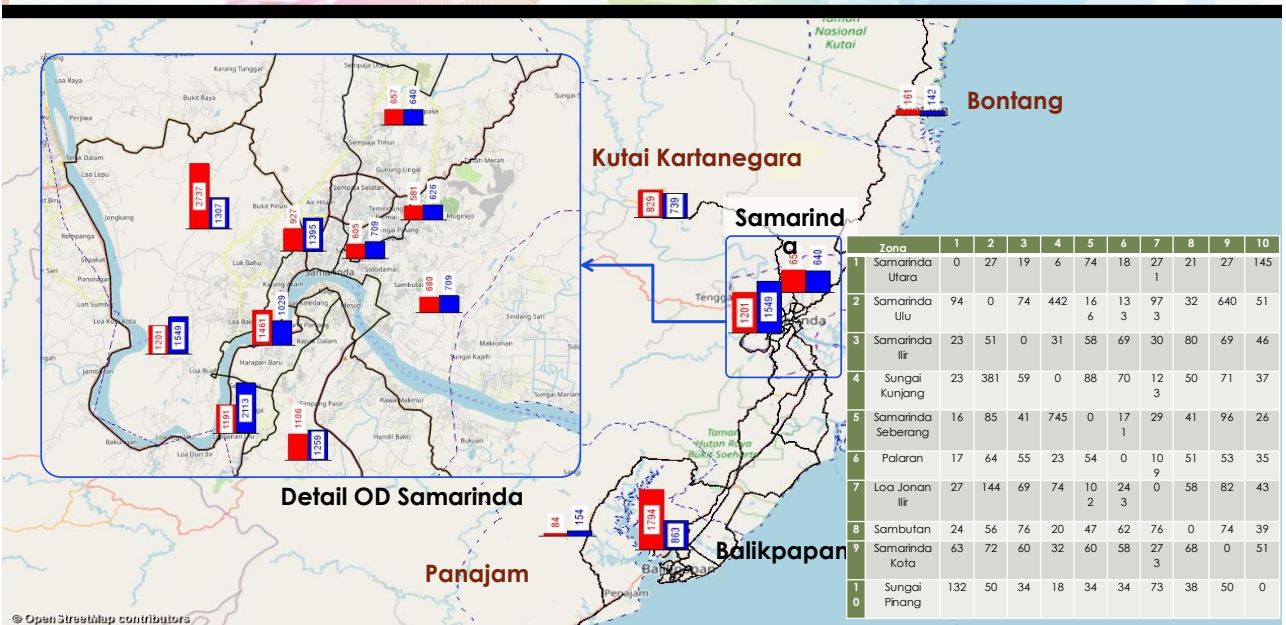
20

CONTOH APLIKASI VISUM: KOTA BALIKPAPAN - SAMARINDA



21

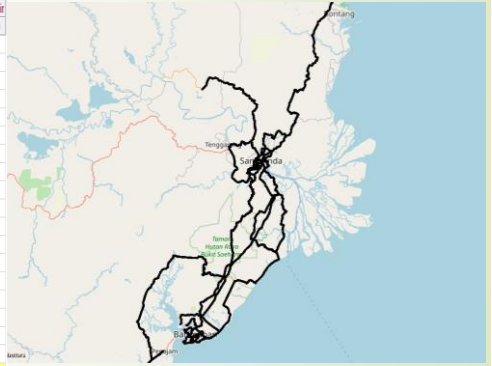
OD CHART 2020 EKSISTING BALIKPAPAN - SAMARINDA



22

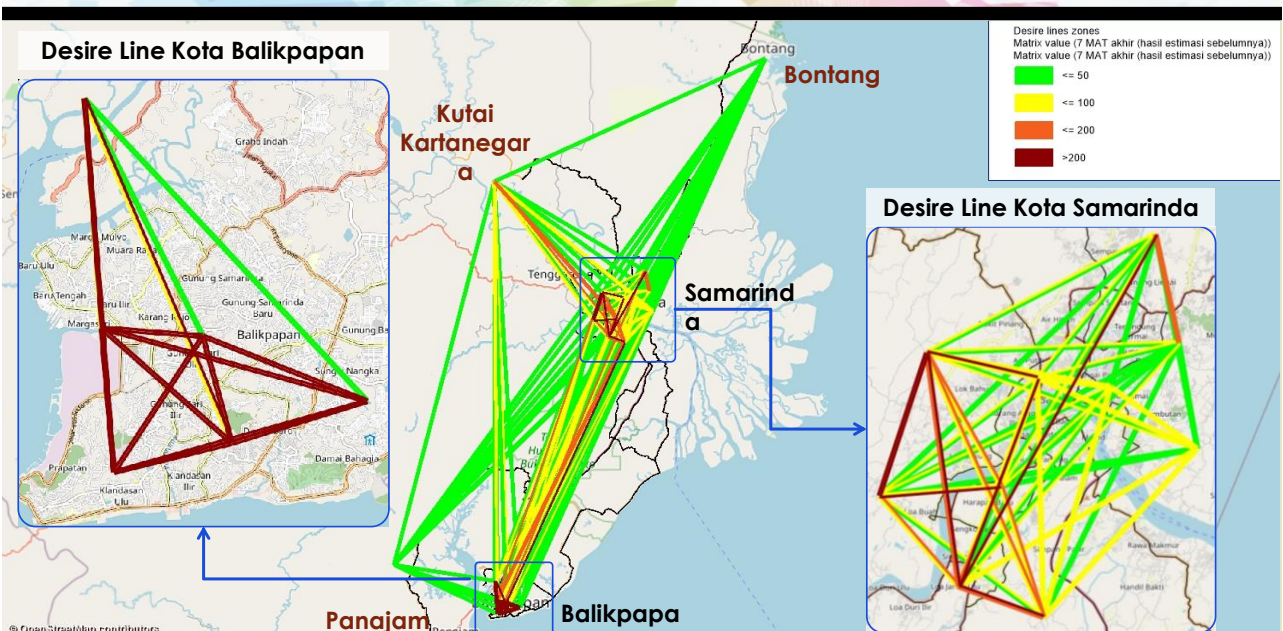
MATRIKS 2020 EKSISTING BALIKPAPAN - SAMARINDA

19x19	Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	21	
	Sum	640.00	1307.00	709.00	1549.00	1029.00	1259.00	2113.00	709.00	1395.00	626.00	963.00	4872.00	4686.00	3119.00	3113.00	2630.00	739.00	142.00	154.00	
1	Samarinda Utara	657.00	0.00	27.00	19.00	6.00	74.00	18.00	271.00	21.00	27.00	145.00	4.00	4.00	1.00	1.00	1.00	1.00	13.00	23.00	1.00
2	Samarinda Ulu	2737.00	94.00	0.00	74.00	442.00	166.00	133.00	973.00	32.00	640.00	51.00	9.00	6.00	50.00	1.00	16.00	4.00	34.00	8.00	4.00
3	Samarinda Ilir	605.00	23.00	51.00	0.00	31.00	58.00	69.00	30.00	80.00	69.00	46.00	14.00	1.00	31.00	1.00	48.00	16.00	24.00	7.00	6.00
4	Sungai Kunjang	1201.00	23.00	381.00	59.00	0.00	88.00	70.00	123.00	50.00	71.00	37.00	59.00	43.00	1.00	38.00	13.00	64.00	8.00	12.00	
5	Samarinda Seberang	1461.00	16.00	85.00	41.00	745.00	0.00	171.00	29.00	41.00	96.00	26.00	11.00	1.00	63.00	1.00	16.00	6.00	104.00	4.00	5.00
6	Palaran	1106.00	17.00	64.00	55.00	23.00	54.00	0.00	109.00	51.00	53.00	35.00	73.00	137.00	32.00	236.00	20.00	7.00	78.00	6.00	6.00
7	Lea Jonan Ilir	1191.00	27.00	144.00	69.00	74.00	102.00	243.00	0.00	58.00	82.00	43.00	68.00	55.00	71.00	1.00	44.00	15.00	74.00	7.00	14.00
8	Sambutan	660.00	24.00	56.00	76.00	20.00	47.00	62.00	76.00	0.00	74.00	39.00	12.00	8.00	28.00	1.00	43.00	15.00	68.00	6.00	5.00
9	Samarinda Kota	927.00	63.00	72.00	60.00	32.00	60.00	58.00	273.00	68.00	0.00	51.00	12.00	10.00	65.00	1.00	41.00	14.00	34.00	8.00	5.00
10	Sungai Pinang	581.00	132.00	50.00	34.00	18.00	34.00	34.00	73.00	38.00	50.00	0.00	7.00	7.00	38.00	1.00	23.00	6.00	24.00	11.00	1.00
11	Balikpapan Barat	1794.00	5.00	16.00	13.00	16.00	13.00	38.00	16.00	13.00	13.00	5.00	0.00	391.00	805.00	3.00	394.00	15.00	25.00	3.00	10.00
12	Kota Balikpapan	4232.00	4.00	103.00	24.00	17.00	24.00	157.00	16.00	23.00	17.00	12.00	71.00	0.00	948.00	553.00	1028.00	1196.00	23.00	6.00	10.00
13	Balikpapan Tengah	4586.00	25.00	93.00	79.00	76.00	72.00	37.00	63.00	62.00	76.00	51.00	403.00	1379.00	0.00	837.00	472.00	709.00	99.00	14.00	39.00
14	Balikpapan Utara	3519.00	114.00	20.00	1.00	1.00	1.00	1.00	5.00	1.00	1.00	1.00	1270.00	1460.00	0.00	427.00	212.00	1.00	1.00	1.00	1.00
15	Balikpapan Selatan	2828.00	15.00	56.00	47.00	19.00	56.00	27.00	18.00	53.00	46.00	20.00	72.00	883.00	239.00	786.00	0.00	435.00	28.00	10.00	18.00
16	Balikpapan Timur	2544.00	5.00	16.00	14.00	2.00	14.00	8.00	15.00	14.00	13.00	6.00	6.00	555.00	730.00	690.00	418.00	0.00	25.00	3.00	10.00
17	Kutai Kartanegara	829.00	21.00	47.00	33.00	20.00	155.00	123.00	20.00	89.00	47.00	37.00	28.00	68.00	34.00	2.00	70.00	13.00	0.00	16.00	6.00
18	Bontang	161.00	29.00	11.00	8.00	4.00	8.00	7.00	4.00	9.00	11.00	16.00	4.00	3.00	21.00	1.00	7.00	1.00	16.00	0.00	1.00
21	Penajam Paser Utara	84.00	3.00	15.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00	9.00	5.00	9.00	1.00	9.00	1.00	7.00	2.00	5.00	1.00	0.00	



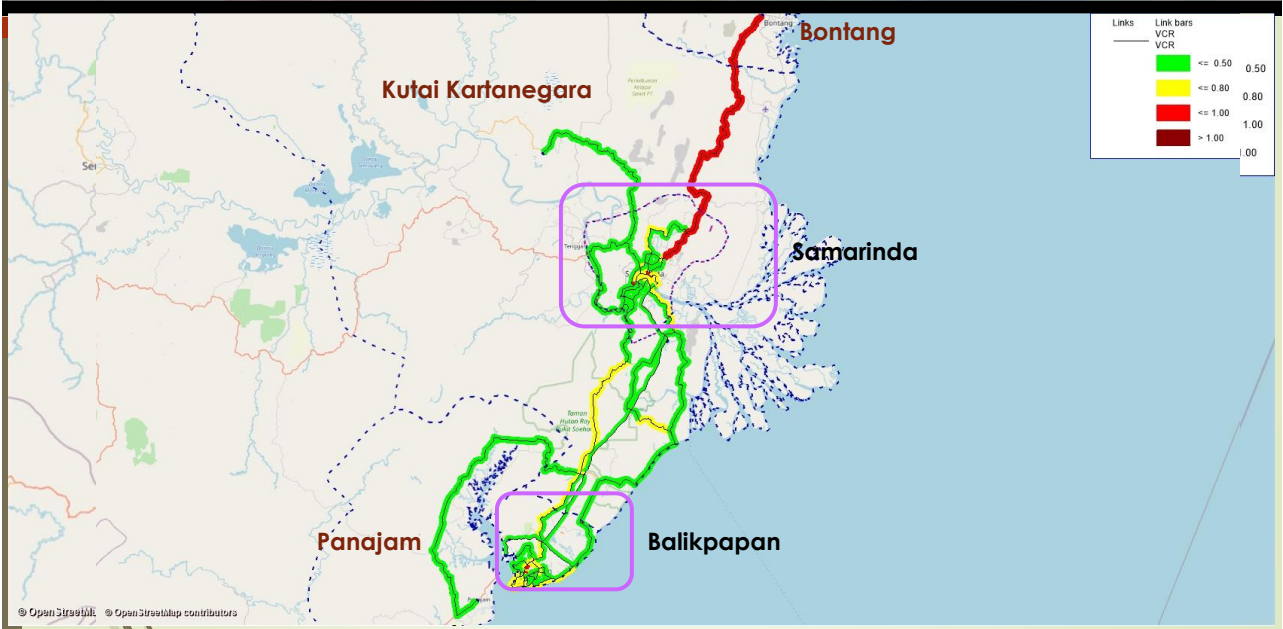
23

DESIRE LINE 2020 EKSISTING BALIKPAPAN - SAMARINDA



24

PEMODELAN EKSTING BALIKPAPAN - SAMARINDA



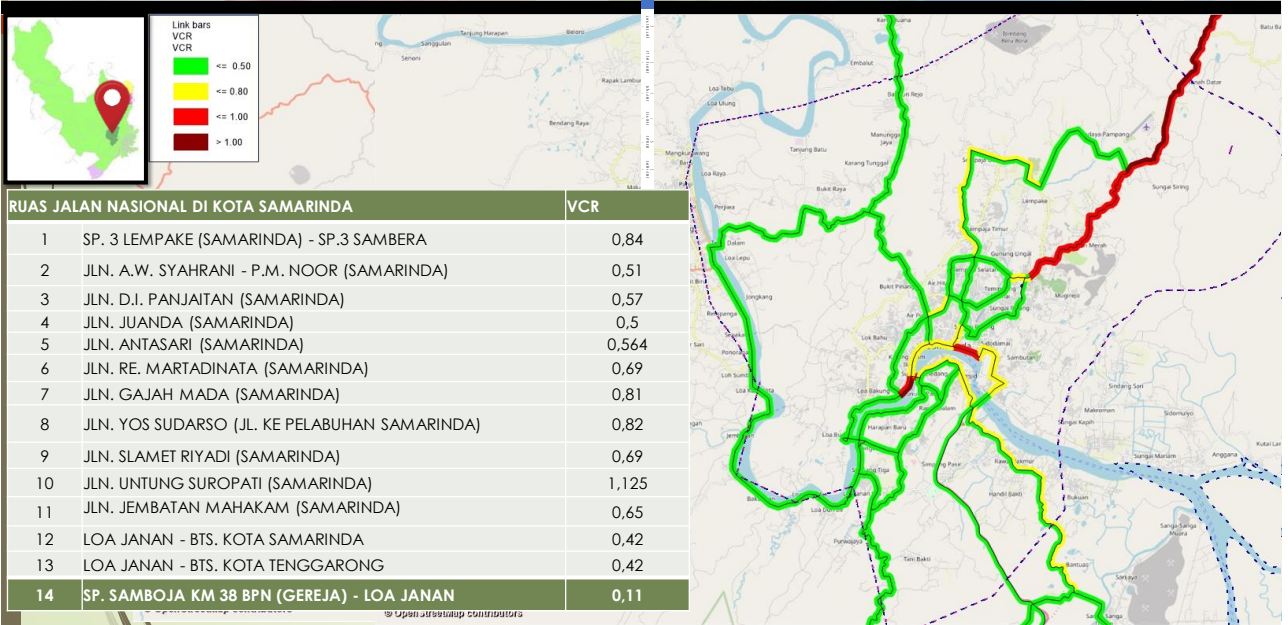
25

PEMODELAN EKSTING BALIKPAPAN (TRIP ASSIGNMENT)



26

PEMODELAN EKSTING SAMARINDA (TRIP ASSIGNMENT)



27

SIMULASI MIKRO ARUS LALU LINTAS SECARA DETERMINISTIK

- Mengasumsikan kendaraan seperti aliran air
- Berdasarkan pada hitungan Manual Kapasitas Jalan
- Running cukup satu kali, tidak berulang

28

SOFTWARE SIMULASI MIKRO ARUS LALU LINTAS SECARA DETERMINISTIK

Pengembang: TRL (Transport Research laboratory)

ARCADY

Assessment of Roundabout Capacity and Delay

Based on three decades of research and development by TRL, ARCADY is used to predict capacities, queues, deltas and accident risk at roundabouts. An easy-to-use tool for the busy traffic professional wanting to design new roundabouts and assess the effects of modifying existing sites. Available as a Roundabout module in [Junctions 10](#).



PICADY

Priority Intersection Capacity and Delay

Prediction of capacities, queues, delays and accidents at isolated priority junctions
PICADY is available as the Priority Intersection Module in [Junctions 10](#).

OSCADY

Optimised Signal Capacity and Delay

Prediction of capacities, queues, delays at isolated signalised junctions
OSCADY is available as the Signalised Intersection Module in [Junctions 10](#).

29

SOFTWARE SIMULASI MIKRO ARUS LALU LINTAS SECARA DETERMINISTIK

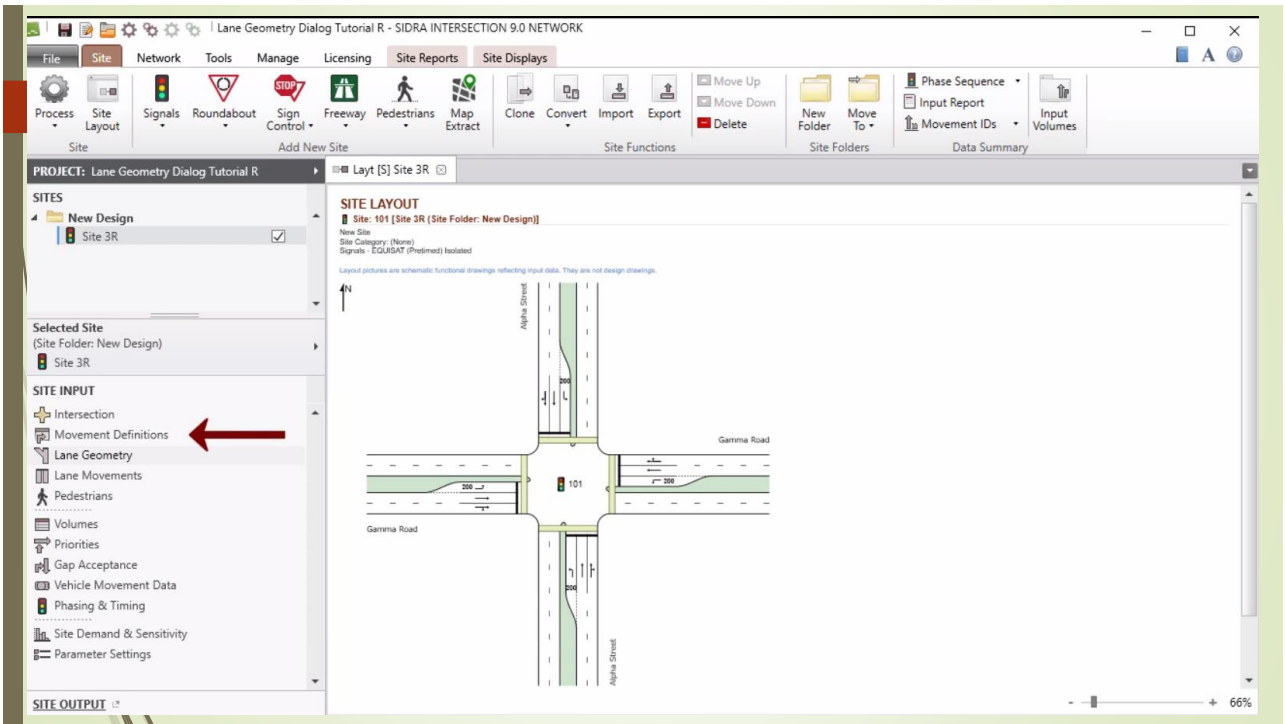
Pengembang: Akcelik & Associates

What is SIDRA INTERSECTION?

Micro-analytical software used as an aid for the design and evaluation of single intersections and networks of intersections.



30



31

SIMULASI MIKRO ARUS LALU LINTAS SECARA STOKASTIK

- Berdasar pada teori probabilitas dan stokastik
- Mempertimbangkan karakteristik perilaku pengemudi (driver behavior)
- Simulasi dapat mulai per satuan waktu
- Memodelkan individu kendaraan

32

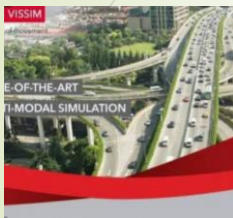
SOFTWARE SIMULASI MIKRO ARUS LALU LINTAS SECARA STOKASTIK

- Bukan software untuk optimalisasi
- Bukan software untuk memprediksi jumlah arus kendaraan di masa mendatang
- Hanya untuk running kondisi yang akan mendatang
- Tidak didasarkan pada highway capacity manual
- Dapat mengatur control sinyal lalu lintas
- Dapat merepresentasikan hasil dalam 2D/3D

33

SOFTWARE SIMULASI MIKRO ARUS LALU LINTAS SECARA STOKASTIK

PTV VISSIM



Aimsun



Paramics



TransModeler



SUMO

34

CONTOH PENGGUNAAN PTV VISSIM

Pembangunan Fly Over Boulevard Raya



35

CONTOH KINERJA HASIL PTV VISSIM

Pembangunan Fly Over Boulevard Raya



Penanganan :
 • Pembangunan Fly Over dari arah Utara ke selatan, dan Arah selatan ke Utara



36

SOFTWARE KOORDINASI SIMPANG DAN OPTIMALISASI SINYAL LALU LINTAS

- Menentukan fase optimal
- Menentukan lama siklus optimal
- Memasukkan fungsi platoon dispersion

TRANSYT

Signal Design for Network and Junctions

TRANSYT is a software suite containing a macroscopic traffic model, a signal optimiser, and a simulation model for the purpose of designing, evaluating and modelling everything from single isolated road junctions to large mixed signal-controlled and priority control traffic networks.



37

Pertemuan 2

Pengantar Perangkat Lunak Ketekniksipilan (Transportasi)

Muhammad Zudhy Irawan

38

PENDAHULUAN

- ▀ Softwares yang sering digunakan di bidang jalan raya
 - ▀ Shell Bitumen Softwares (BANDS, BISAR, SPDM)
 - ▀ HDM-4
 - ▀ HIPAVE, CIRCLY , APSDS

39

BANDS

- ▀ Program BANDS (Bitumen and Asphalt Nomograph) adalah salah satu perangkat lunak analisis bitumen dan aspal
- ▀ BANDS adalah program untuk desain perkerasan dalam memperkirakan sifat material yang relevan dari aspal pengikat dan campuran aspal untuk dapat digunakan dalam perhitungan desain tebal perkerasan jalan.
- ▀ Program ini digunakan dalam perhitungan desain tebal perkerasan
- ▀ Program ini harus digunakan bersama dengan SPDM (Shell Pavement Design Method) yang secara khusus didedikasikan untuk perhitungan desain tebal perkerasan tersebut.
- ▀ Output yang dihasilkan oleh perangkat lunak ini adalah bitumen stiffness, percentage of voids, mix stiffness, fatigue life, dan fatigue strain.

40



BISAR

- BISAR (Bitumen Stress Analysis in Roads) adalah program komputer untuk menghitung defleksi dan kemampuan menghadapi kekuatan horisontal dan slip antara lapisan perkerasan serta untuk menghitung stres komprehensif dan profil regangan seluruh struktur
- Dengan program BISAR, tegangan (stress), regangan (strain), dan displacements dapat dihitung dalam satu sistem berlapis-lapis yang elastis.

41

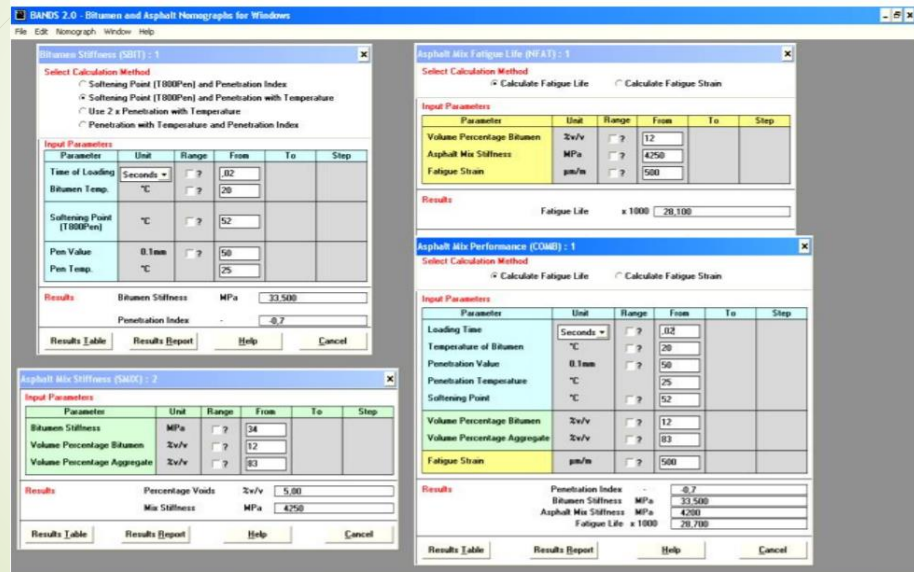


SPDM

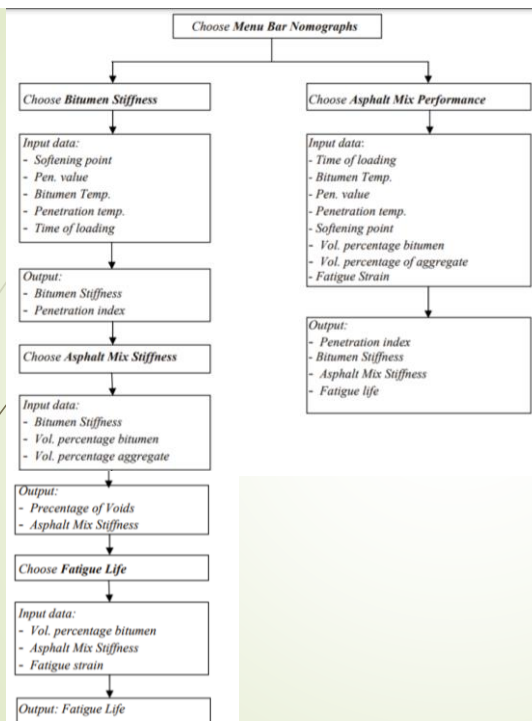
- SPDM (Shell Pavement Design Method) adalah program untuk merancang merancang tebal struktur aspal untuk pengaspalan jalan, estimasi deformasi permanen pada lapisan aspal dan merancang lapisan-lapisan aspal

42

BANDS



43



44

SPDM

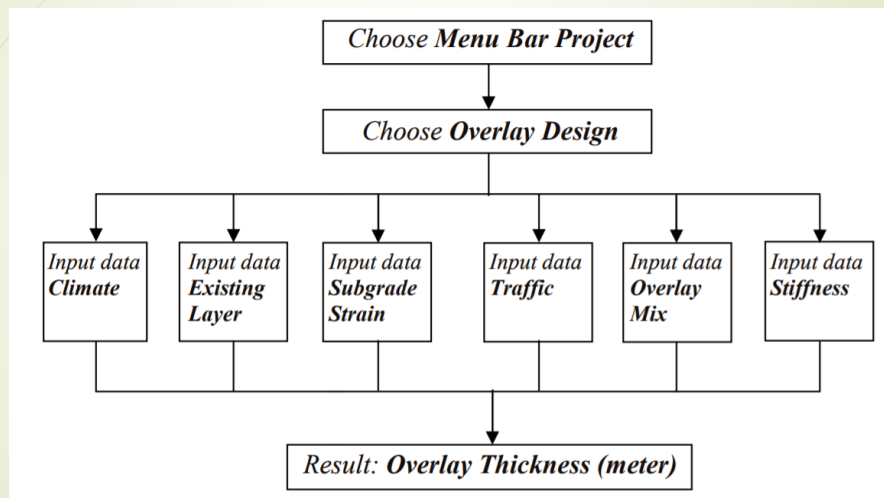
The screenshot shows the SPDM 3.0 - Shell Pavement Design Method software interface. The window title is "Overlay - Example Overlay Bound". The interface is divided into several sections:

- Climate:** Includes "Overlay Calculation Options" with radio buttons for "Enter mix stiffness", "Enter bitumen stiffness", and "Enter routine bitumen properties". It also has "Routine Bitumen Properties Options" with radio buttons for "Enter Softening Point and PI", "Enter Softening Point and Pen Value", "Enter 2 x Pen Value", and "Enter PI and Pen Value".
- Existing Asphalt Layer:** Includes "Bitumen Name" (Hardened 50 Pen), "Softening Point (°C)" (59.0), "Pen Value (1mm)" (35.0), "Pen Temp (°C)" (25.0), and "Pen Index" (0.0).
- Base Layers & Subgrade Strain:** Includes "Thickness (m) (Initial/Calculated)" (0.11E), "Poisson's Ratio" (0.35), and "Mix Stiffness (MPa)" (1629.36).
- Traffic & Design Life:** Includes "Loading Time (s) (required)" (0.02) and "Bitumen Stiffness (MPa)" (7.38).
- Overlay Mix & Specific Fatigue:** Includes "Save" and "Retrieve" buttons.
- Overlay Stiffness & Layer Thickness:** Includes "Save" and "Retrieve" buttons.

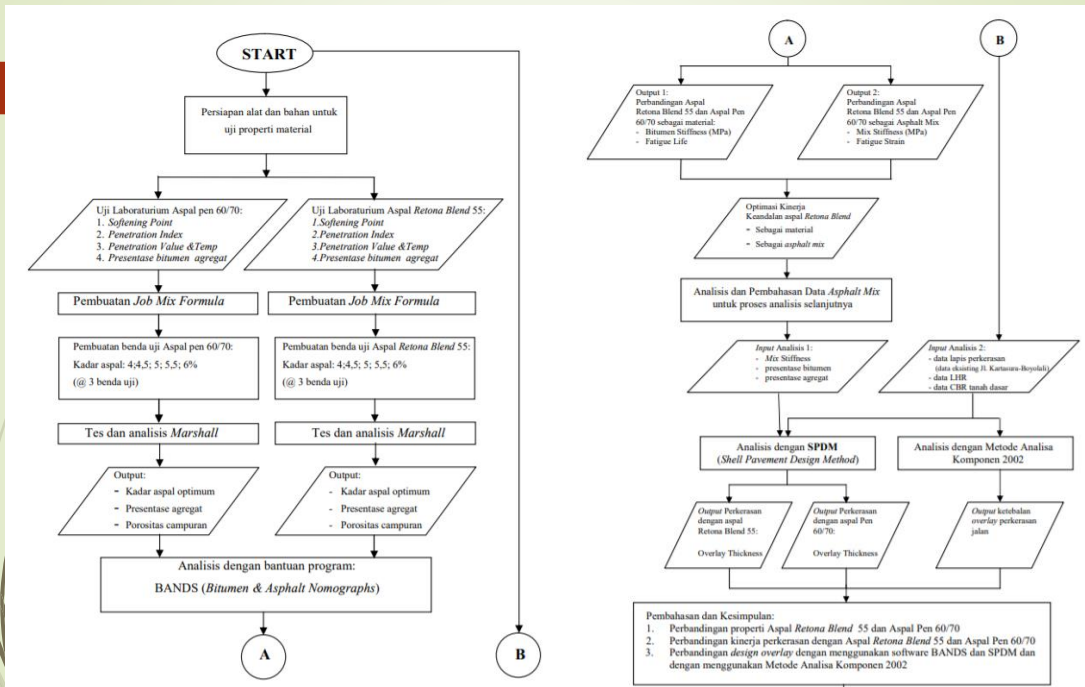
Arrows from the legend on the right point to the corresponding input fields in the software interface:

- Input 1 : Climate** points to the Climate section.
- Input 2 : Existing Layer** points to the Existing Asphalt Layer section.
- Input 3 : Subgrade Strain** points to the Base Layers & Subgrade Strain section.
- Input 4 : Traffic** points to the Traffic & Design Life section.
- Input 5 : Overlay Mix** points to the Overlay Mix & Specific Fatigue section.
- Input 6 : Stiffness** points to the Overlay Stiffness & Layer Thickness section.

45



46



47

Metode	Jenis Aspal	Overlay Thickness (cm)
BANDS dan SPDM	Penetrasi 60/70	11,6
	Retona Blend 55	10,4
Metode Analisa Komponen 2002	-	10*

*tebal minimum Laston 10 cm untuk lalu lintas > 7000000

48

HDM

- ▶ SPDM (Shell Pavement Design Method) adalah program untuk merancang merancang tebal struktur aspal untuk pengaspalan jalan, estimasi deformasi permanen pada lapisan aspal dan merancang lapisan-lapisan aspal

49

Penggunaan HDM

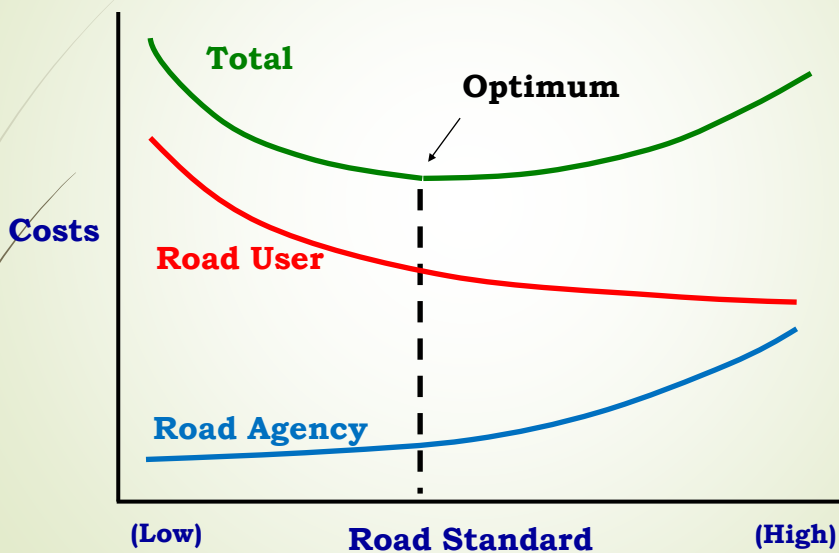
HDM adalah software untuk mendukung pembuatan keputusan untuk perencanaan dan management jalan

- ▶ Memogramkan kerja/kemampuan jalan
- ▶ Memprediksi biaya yang dibutuhkan
- ▶ Alokasi budget
- ▶ Memprediksi kinerja jaringan jalan
- ▶ Apraisal Proyek
- ▶ Studi dampak kebijakan

Bukan Softwares untuk perancangan

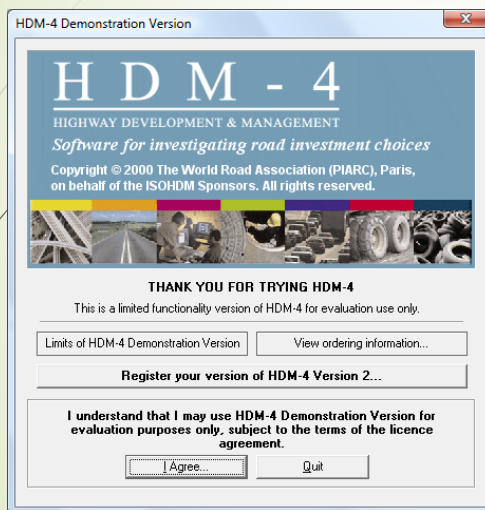
51

Mengoptimalkan total biaya perjalanan



52

HDM-4 – Welcome Screen



53

HDM-4 Manuals



Volume 6 - Modelling Road Deterioration and Works Effects

Volume 7 - Modelling Road User and Environmental Effects

54

- ◆ HDM membantu dalam menentukan dampak dari investasi suatu ruas jalan

Management Function	HDM-4 Application
Planning	Strategy Analysis
Programming	Programme Analysis
Preparation	Project Analysis

55




Strategy Analysis

Terkait dengan analisis dari keseluruhan jaringan jalan

- Menentukan biaya yang dibutuhkan baik pada jangka menengah maupun Panjang
- Memprediksi kinerja perkerasan jalan di masa mendatang dalam kaitannya dengan budget constraints
- Memprediksi dampak penggunaan jalan di masa mendatang oleh pengguna jalan

56



Programme Analysis

Terkait dengan persiapan pekerjaan jalan (single atau multi-year) dan program pembiayaan dalam kaitannya dengan keterbatasan kesediaan biaya

- Dana yang tersedia tidak cukup untuk mendukung tujuan kebijakan atau solusi yang optimal
- Memastikan keterbatasan anggaran dalam digunakan secara optimal, konsisten dan merata
- Memaksimalkan manfaat ekonomi per unit investasi

57

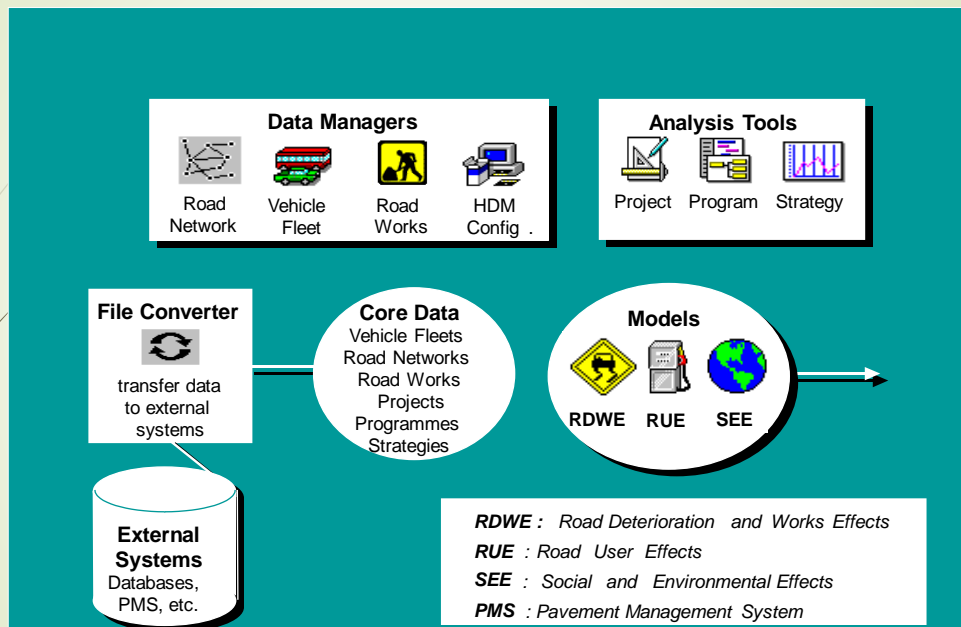
Project Analysis

Evaluasi kelayakan ekonomi dari satu atau lebih proyek jalan atau dari pilihan jenis investasi

Contoh jenis Proyek:

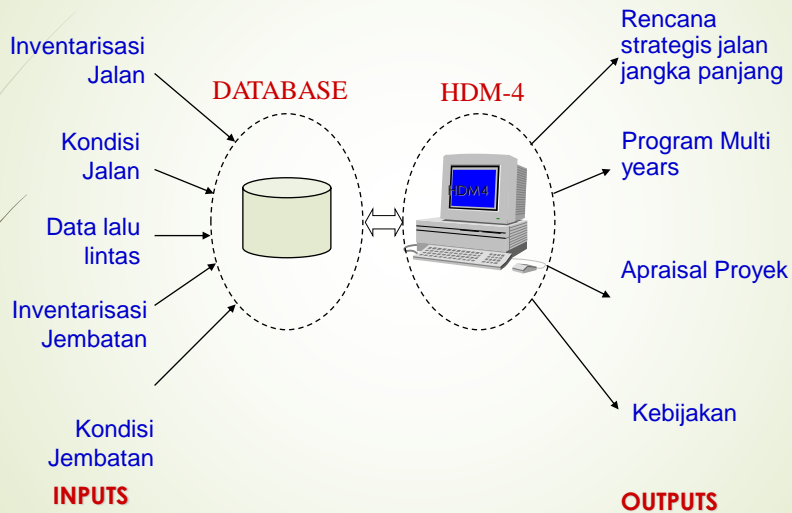
- Konstruksi baru, peningkatan
- Konstruksi ulang
- Pelebaran, penambahan jalur
- Jalur Kendaraan Tidak Bermotor

58



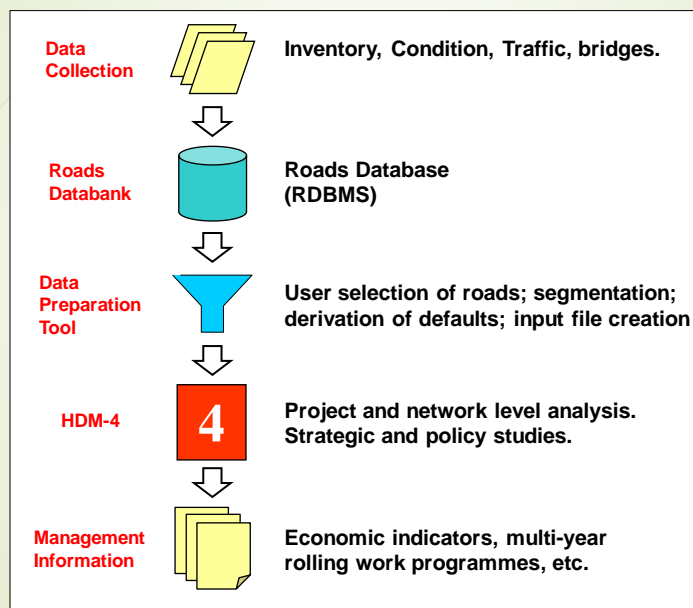
59

Integrasi HDM dengan Sistem Manajemen Jalan

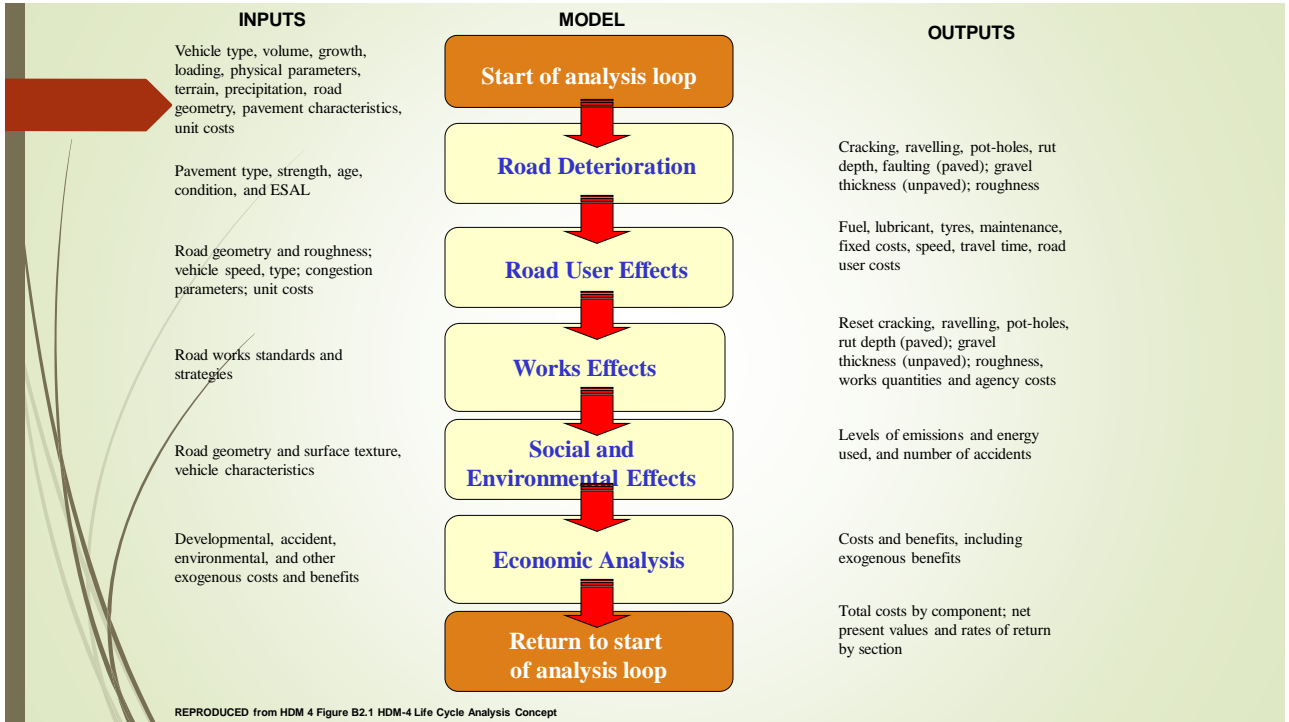


60

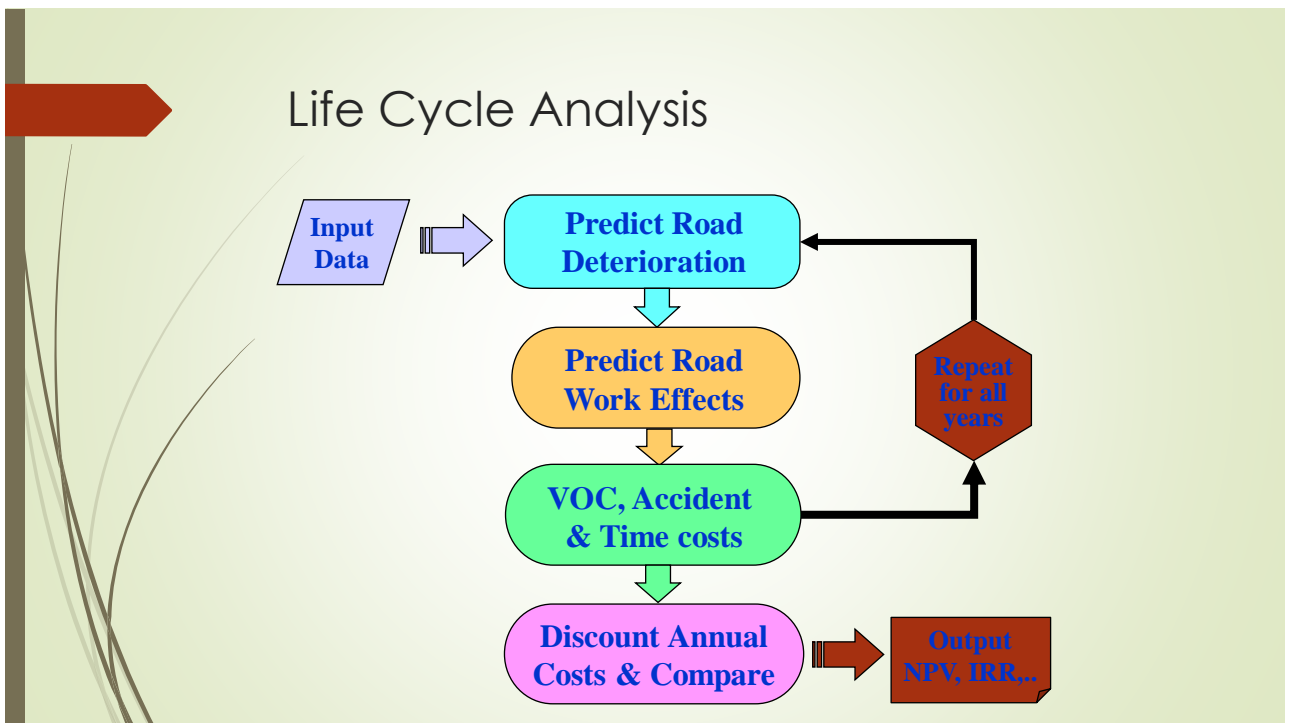
Integrasi di dalam Sistem Manajemen Jalan



61



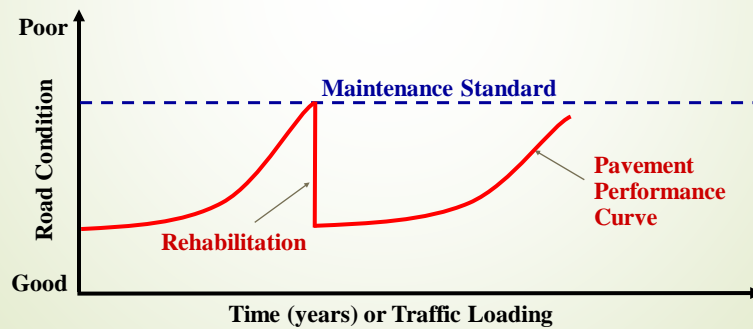
62



63

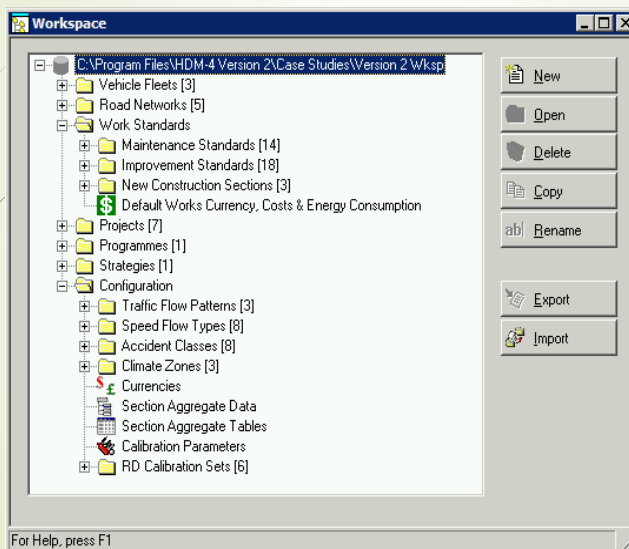
Kerusakan Jalan

- Memprediksi kinerja perkerasan jalan di jangka Panjang
- Memprediksi dampak dari standar perawatan jalan
- Menghitung annual costs: PU + Pengguna



64

HDM-4 Workspace



65