

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen melalui simulasi numerik dalam bentuk N-body problem.

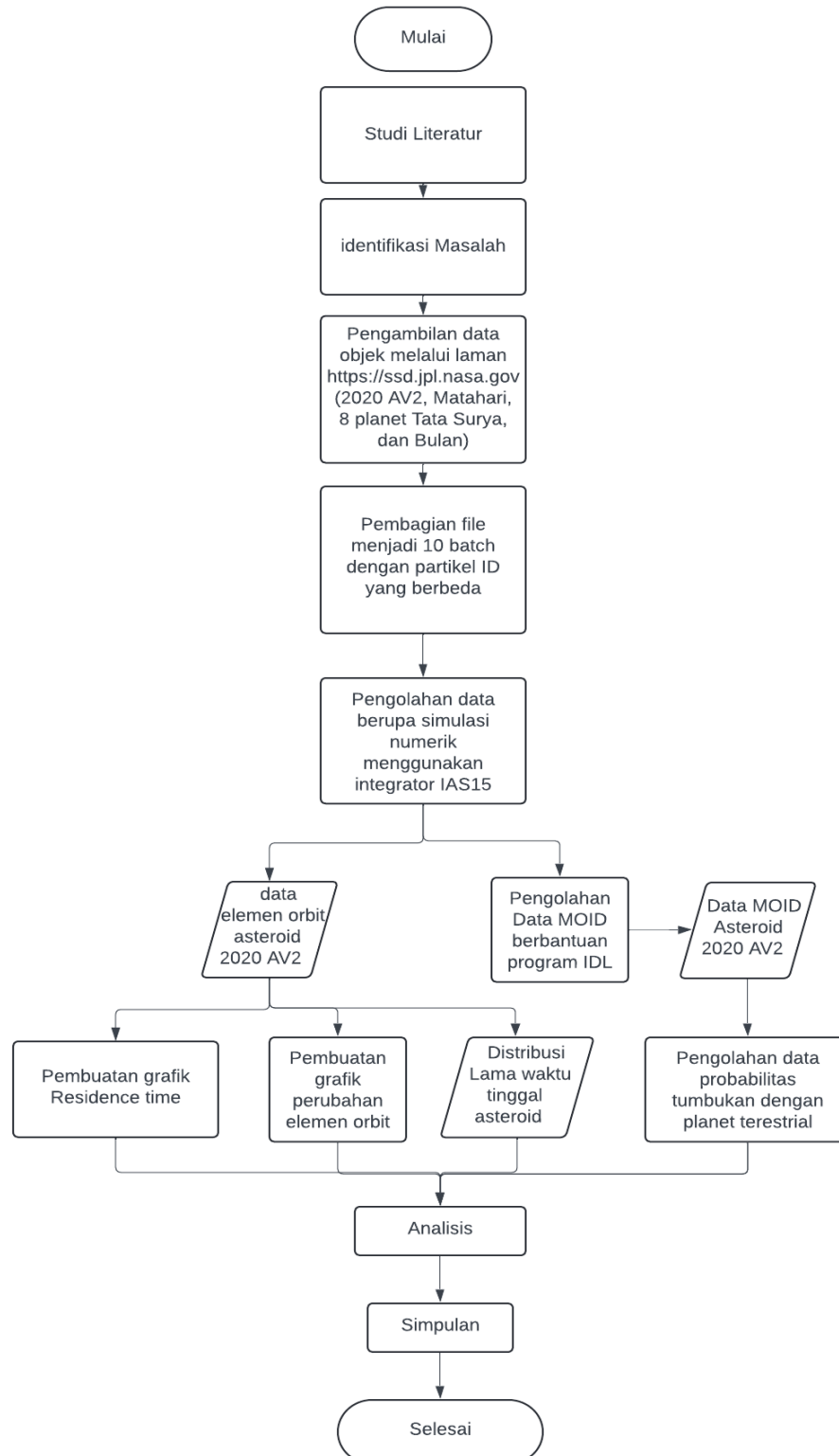
#### **3.2 Sampel Penelitian**

Sampel yang digunakan diambil dari laman <http://ssd.jpl.nasa.gov>. Sampel Penelitian ini menggunakan data hasil komputasi orbit yang melibatkan gaya gravitasi serta efek Yarkovsky untuk Matahari, Merkurius, Venus, Bumi, Bulan, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus, dan 594913 'Ayló'chaxnim .

#### **3.3 Infrastruktur Penelitian**

Komputasi dilakukan dengan menggunakan paket integrator IAS15 yang terdapat pada paket REBOUND. Digunakannya paket integrator ini dengan alasan nilai akurasi dan presisinya yang sangat baik dibandingkan dengan paket integrator lainnya. Proses komputasi orbit dilakukan dengan menggunakan High Performance Computing (HPC) MAHAMERU dari Badan Riset dan Inovasi Nasional dengan spesifikasi Intel(R) Xeon(R) CPU 2.10GHz 1008 core 3,5 TB total memori (128gb/simpul). Komputasi dilakukan dengan langkah waktu sebesar  $10^{-3}$  tahun atau sekitar 8,766 jam dan data dicuplik setiap rentang waktu 100 Tahun.

### 3.4 Prosedur Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur. Literatur yang mendasari penelitian ini adalah penelitian dari Greenstreet (2020) yang membahas mengenai orbital dari asteroid kelas-Vatira pertama yang ditemukan yaitu 594913 'Ayló'chaxnim. Selanjutnya penelitian dari Greenstreet pada tahun 2020 menyatakan bahwa umumnya orbit asteroid kelas-Vatira tidak stabil oleh karena itu dilakukanlah penelitian ini dengan menggunakan paket integrator terbaru agar didapat hasil yang lebih komprehensif serta menunjukkan lama waktu tinggal dari 594913 'Ayló'chaxnim yang orbitnya tidak stabil dalam bentuk grafik Residence Time serta probabilitas tumbukan dengan planet-planet di Tata Surya.

Data sampel yang diambil dari laman <http://ssd.jpl.nasa.gov> kemudian akan diolah melalui proses simulasi numerik dengan menggunakan paket integrator IAS15 dalam modul REBOUND (Rein & Liu, 2012). Data yang didapatkan setelah proses simulasi numerik kemudian akan diolah serta disajikan dalam bentuk grafik menggunakan bantuan perangkat lunak python

Data tersebut diolah menjadi grafik *Residence Time* dan juga probabilitas tumbukan dari asteroid 594913 'Ayló'chaxnim ini. Kemudian grafik tersebut akan dianalisis sehingga dapat dilihat proses dinamika evolusi orbit serta kemungkinan tumbukannya dalam 10 juta tahun kedepan. Setelah itu, berdasarkan data yang telah dianalisis dilakukan penarikan kesimpulan. Penulisan Laporan akhir dilakukan setelah semua proses tersebut dan disajikan dalam bentuk tulisan hasil penelitian yang terstruktur. Untuk mempermudah memahami alur penelitian dapat dilihat pada Gambar di bawah.

Dengan adanya kendala untuk melakukan simulasi dengan jumlah partikel yang besar dan waktu yang panjang pada penelitian ini sehingga dilakukan dengan membagi pekerjaan menjadi 10 dengan tujuan untuk meminimalisir ukuran data yang dapat memudahkan dalam pengolahan. Setiap batch simulasi dilakukan dengan mensimulasikan 100 klon dengan ID partikel yang berbeda. Sehingga pada akhir simulasi akan diperoleh 1000 klon dengan nilai partikel ID yang bernilai 1 sampai 1000. Nomor partikel ID pada simulasi yang dilakukan setiap batch dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 ID Populasi asteroid yang disimulasikan pada setiap Batch

Batch ke-	ID populasi asteroid
1	1 sampai 100
2	101 sampai 200
3	201 sampai 300
4	301 sampai 400
5	401 sampai 500
6	501 sampai 600
7	601 sampai 700
8	701 sampai 800
9	801 sampai 900
10	901 sampai 1000

Kemudian setelah data diperoleh data akan digabungkan menjadi 1 file untuk kemudahan dalam pengunduhan serta pengolahan data. Data akan diolah menjadi plot dengan bantuan software matplotlib yang dijalankan dengan program bahasa python yang dijalankan pada HPC MAHAMERU.

Simulasi dilakukan dengan menggunakan integrator IAS15 pada Rebound dan tambahan gaya termal Yarkovsky ditambahkan menggunakan ekstensi Reboundx. Simulasi dilakukan menggunakan HPC MAHAMERU dikarenakan membutuhkan spesifikasi yang tinggi serta meningkatkan efisiensi waktu simulasi. Kemudian didapatkan data elemen orbit asteroid yang terdapat pada Gambar 3.2. Data tersebut kemudian diplot nilai nilainya untuk mengamati perubahan elemen orbitnya selama waktu komputasi.

Pembuatan grafik *residence time* dilakukan dengan menghitung waktu yang dihabiskan oleh semua asteroid di berbagai sel ( $a$ ,  $e$ ,  $i$ ) sepanjang evolusinya. Perhitungan ini dilakukan untuk semua klon dan membagi total waktu tinggal dengan total jumlah klon pada setiap sel. Pada penelitian ini, grafik *residence time* dibuat dengan mengikuti referensi sebelumnya (Greenstreet dkk., 2012) menggunakan sel-sel sebesar 0,05 sa untuk  $a$ , 0,02 untuk  $e$ , dan  $2^\circ$  untuk  $i$ .

ParticleID	t	a	e	i	inc1	Omega	omega	w	MOID
1	0.0	0.552	0.175001	0.308996	0.573361	2.918554	4.196636	1.532895	
2	0.0	0.552	0.175	0.309043	0.572818	2.908955	4.201292	1.532122	
3	0.0	0.552	0.174998	0.308965	0.572259	2.917812	4.193257	1.534247	
4	0.0	0.552	0.175	0.309021	0.573259	2.918859	4.20008	1.531745	
5	0.0	0.552	0.174999	0.308929	0.572795	2.925596	4.202511	1.530476	
6	0.0	0.552	0.175	0.308978	0.574913	2.912799	4.194965	1.534824	
7	0.0	0.552	0.174999	0.308972	0.577885	2.916444	4.198538	1.531791	
8	0.0	0.552	0.175	0.309024	0.574655	2.913709	4.193624	1.534602	
9	0.0	0.552	0.175	0.308957	0.572905	2.918657	4.199666	1.53244	
10	0.0	0.552	0.175	0.308958	0.571737	2.920037	4.196569	1.532721	
11	0.0	0.552	0.174998	0.308934	0.571457	2.915225	4.188923	1.536924	
12	0.0	0.552	0.174999	0.308853	0.57364	2.915229	4.188917	1.530715	
13	0.0	0.552	0.175001	0.308856	0.572259	2.922613	4.20006	1.530184	
14	0.0	0.552	0.175	0.308871	0.573943	2.920806	4.189811	1.533991	
15	0.0	0.552	0.175	0.308971	0.572248	2.920761	4.190858	1.534442	
16	0.0	0.552	0.175001	0.308925	0.567932	2.918735	4.18807	1.535789	
17	0.0	0.552	0.175	0.308937	0.575815	2.919675	4.206318	1.529726	
18	0.0	0.552	0.174999	0.308864	0.570525	2.912838	4.194203	1.535675	
19	0.0	0.552	0.175	0.308907	0.572624	2.916759	4.191588	1.530816	
20	0.0	0.552	0.175001	0.308951	0.573238	2.915599	4.2015	1.532216	
21	0.0	0.552	0.175001	0.308834	0.573202	2.917185	4.201251	1.532054	
22	0.0	0.552	0.175001	0.308874	0.578159	2.914063	4.202539	1.531255	
23	0.0	0.552	0.174999	0.308844	0.573626	2.918756	4.186289	1.535525	
24	0.0	0.552	0.175001	0.308897	0.575719	2.915265	4.193567	1.530481	
25	0.0	0.552	0.174999	0.308966	0.56736	2.91968	4.197565	1.533827	
26	0.0	0.552	0.175	0.308992	0.577875	2.912883	4.197814	1.533097	
27	0.0	0.552	0.175002	0.308957	0.573822	2.917465	4.201713	1.531784	
28	0.0	0.552	0.175	0.308931	0.572213	2.916112	4.198906	1.531181	
29	0.0	0.552	0.174999	0.308914	0.57147	2.921834	4.195513	1.532814	
30	0.0	0.552	0.174999	0.308855	0.573625	2.921537	4.193922	1.532932	
31	0.0	0.552	0.175001	0.308868	0.574647	2.918767	4.195959	1.534319	
32	0.0	0.552	0.174999	0.308945	0.574813	2.914094	4.192441	1.534552	
33	0.0	0.552	0.175	0.308956	0.574254	2.916557	4.197372	1.532975	
34	0.0	0.552	0.175	0.308833	0.570344	2.914762	4.196983	1.534794	
35	0.0	0.552	0.175	0.308974	0.573777	2.915772	4.20057	1.532409	
36	0.0	0.552	0.175001	0.308924	0.571683	2.913933	4.192913	1.535437	

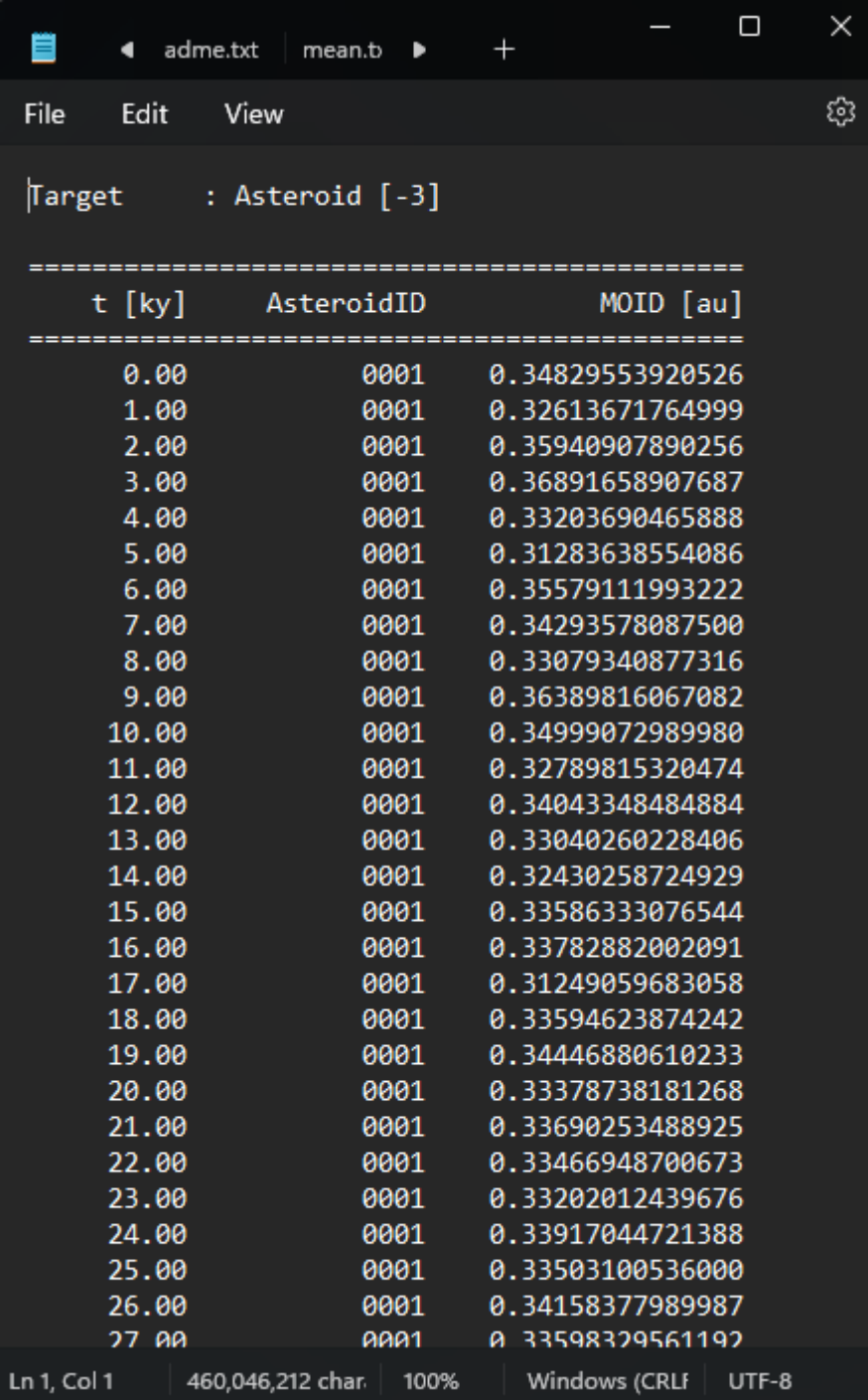
Gambar 3.2 Tangkapan layar data hasil komputasi orbit yang dihasilkan Rebound

Selanjutnya data diolah dengan metode komputasi berbantuan program IDL, data pada Gambar 3.2 digunakan pada program IDL: untuk memperoleh nilai MOID. Data yang diperoleh berupa data MOID planet-planet kebumian dengan seluruh asteroid yang disimulasikan. Data MOID yang diperoleh melalui program IDL dapat dilihat pada Gambar 3.3 untuk seluruh asteroid dan Gambar 3.4 untuk masing-masing asteroid.

```

Target : Planet [-3]
Projectile : AsteroidID-0001
=====
AsteroidID-0001
-----+-----
t [ky]      MOID [au]      a [au]      e      i [rad]      Omega [rad]      w [rad]
-----+-----
0.00      0.34829553920526      0.55200000      0.17500100      0.30899600      0.57336100      2.9185540
1.00      0.32613671764999      0.56982300      0.17721000      0.30903700      0.56164000      2.9330210
2.00      0.35940907890256      0.55130900      0.15793500      0.31175600      0.53826700      2.9042560
3.00      0.346918589091607      0.54253100      0.15731100      0.31099300      0.54036000      2.9470860
4.00      0.332036904658888      0.57110400      0.16425000      0.30697400      0.53997400      2.9648610
5.00      0.31282638554086      0.57751300      0.18417300      0.30566100      0.52491900      3.0107060
6.00      0.35579111993222      0.54659200      0.17087400      0.30618900      0.50321200      3.1137970
7.00      0.342935780887500      0.55414300      0.17951200      0.30612000      0.49919200      3.0657740
8.00      0.33079340877316      0.57178400      0.16572500      0.30491300      0.47806300      3.0390190
9.00      0.36389816067082      0.54701800      0.15808900      0.30788500      0.46130400      3.0673380
10.00     0.34999072989980      0.55565000      0.16566700      0.30566900      0.47355700      3.0413410
11.00     0.32789815320474      0.57395300      0.16688000      0.30214600      0.45690300      3.0818190
12.00     0.34043348484884      0.55641800      0.18130600      0.30241000      0.43645600      3.1346060
13.00     0.33040260228406      0.56178300      0.18846800      0.30018200      0.43226600      3.1215220
14.00     0.32430258724929      0.56948200      0.18325600      0.30049700      0.41418100      3.2106990
15.00     0.33586333076544      0.55945100      0.18459000      0.30124500      0.39750600      3.1907760
16.00     0.33782882002091      0.55865200      0.18301700      0.30002600      0.39840800      3.2343350
17.00     0.31249059683058      0.57709200      0.19012700      0.29584800      0.39292900      3.2905570
18.00     0.33594623874242      0.56087600      0.18344800      0.29627500      0.37305700      3.3058960
19.00     0.34446880610233      0.55620200      0.18305900      0.29550000      0.36163300      3.3579250
20.00     0.33378738181268      0.56390800      0.18496400      0.29325700      0.35187700      3.3330290
21.00     0.33690253488925      0.56487500      0.17781800      0.29165300      0.33960900      3.3591910
22.00     0.33466948700673      0.56549900      0.18022000      0.29036700      0.32490200      3.3966790
23.00     0.3330912439576      0.56527700      0.18610100      0.28941100      0.31402700      3.3995330
24.00     0.33017044721388      0.56038300      0.18434400      0.28832200      0.30030500      3.4087290
25.00     0.33502100536000      0.56315700      0.18843000      0.28715800      0.28960300      3.4655680
26.00     0.34158377989987      0.55593600      0.19343100      0.28626000      0.27973300      3.4900450
27.00     0.33598329561192      0.56278200      0.18999800      0.28457900      0.27175300      3.5069010
28.00     0.34087392428869      0.56231000      0.18557600      0.28418300      0.25349600      3.5667360
29.00     0.34672414798435      0.55611700      0.18861900      0.28154700      0.24334200      3.5710160
30.00     0.33720807596755      0.56524100      0.18747500      0.27843500      0.23870800      3.5827560
31.00     0.33684381456907      0.56294600      0.19322200      0.27863100      0.21853300      3.5671810
32.00     0.36930649227715      0.54331900      0.17730500      0.27920400      0.19855400      3.6086310
    
```

Gambar 3.3Tangkapan layar hasil keluaran program IDL yang mengolah data komputasi orbit yang dihasilkan Rebound



```

|Target      : Asteroid [-3]

=====
      t [ky]      AsteroidID      MOID [au]
=====
      0.00          0001      0.34829553920526
      1.00          0001      0.32613671764999
      2.00          0001      0.35940907890256
      3.00          0001      0.36891658907687
      4.00          0001      0.33203690465888
      5.00          0001      0.31283638554086
      6.00          0001      0.35579111993222
      7.00          0001      0.34293578087500
      8.00          0001      0.33079340877316
      9.00          0001      0.36389816067082
     10.00          0001      0.34999072989980
     11.00          0001      0.32789815320474
     12.00          0001      0.34043348484884
     13.00          0001      0.33040260228406
     14.00          0001      0.32430258724929
     15.00          0001      0.33586333076544
     16.00          0001      0.33782882002091
     17.00          0001      0.31249059683058
     18.00          0001      0.33594623874242
     19.00          0001      0.34446880610233
     20.00          0001      0.33378738181268
     21.00          0001      0.33690253488925
     22.00          0001      0.33466948700673
     23.00          0001      0.33202012439676
     24.00          0001      0.33917044721388
     25.00          0001      0.33503100536000
     26.00          0001      0.34158377989987
     27.00          0001      0.33598329561192
=====
Ln 1, Col 1      460,046,212 char.      100%      Windows (CRLF)      UTF-8

```

Gambar 3.4 Tangkapan layar data MOID hasil keluaran program IDL yang mengolah data hasil komputasi orbit yang dihasilkan Rebound

Selanjutnya data ini diolah kembali dengan program IDL untuk mendapatkan nilai probabilitas tumbukan intrinsik ( $P_i$ ) dan frekuensi tumbukan ( $f$ ).