

BAB 6 PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini membahas tentang tahap pengujian beserta analisis dari perangkat lunak implementasi pemodelan regresi linear untuk prediksi konsumsi energi primer Indonesia menggunakan hybrid *particle swarm optimization* dan *continuous ant colony optimization* (PSOACO_R). Pengujian yang dilakukan sesuai dengan perancangan yang dibuat sebelumnya. Terdapat 10 skenario pengujian yang dilakukan yakni:

1. Pengujian dan analisis nilai c_1 dan c_2 terhadap *fitness*
2. Pengujian dan analisis nilai w terhadap *fitness*
3. Pengujian dan analisis nilai k terhadap *fitness*
4. Pengujian dan analisis nilai q terhadap *fitness*
5. Pengujian dan analisis nilai ξ terhadap *fitness*
6. Pengujian dan analisis jumlah *popsize* terhadap *fitness*
7. Pengujian dan analisis jumlah m semut baru terhadap *fitness*
8. Pengujian dan analisis kriteria berhenti terhadap *fitness*
9. Pengujian dan analisis pemodelan regresi linear terhadap MAPE
10. Perbandingan antara regresi-PSOACO_R dengan regresi-PSO dan regresi-ACO_R

6.1 Pengujian Nilai c_1 dan c_2 Terhadap Nilai Fitness

Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh nilai c_1 (*cognitive coefficient*) dan c_2 (*social coefficient*) pada nilai *fitness* yang dihasilkan. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan dan dihitung *fitness* rata-ratanya. Nilai parameter selain nilai c_1 dan c_2 dibuat tetap yakni nilai w , k , q , dan ξ masing-masing 0.7, 0.5, 0.005, dan 0.7. Nilai parameter min konvergen, max iterasi, *popSize*, dan m masing-masing 50, 1000, 100, dan 2, sedangkan ruang pencarian intersep regresi sebesar [100, 100] dan koefisien kemiringan regresi sebesar [-10, 10]. Data latihan yang dipakai mulai dari tahun 1967 sampai tahun 2006. Hasil pengujian nilai c_1 dan c_2 dapat dilihat pada Tabel 6.1.

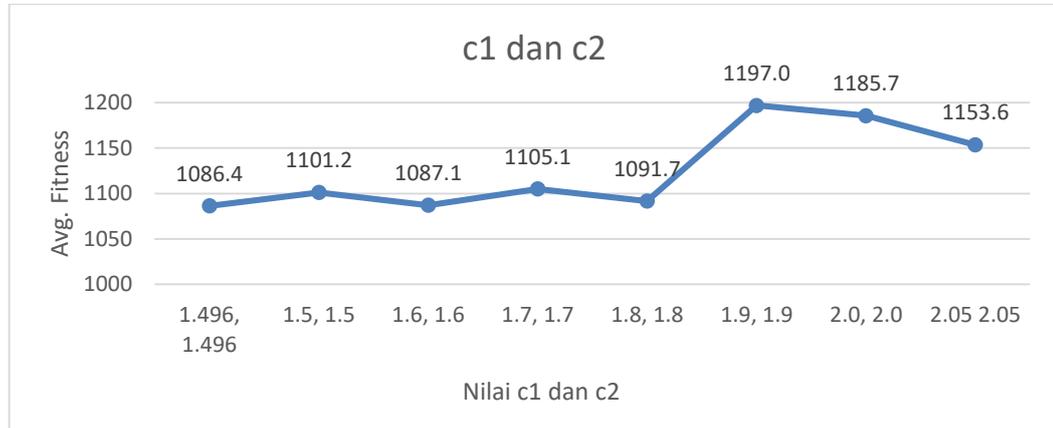
Tabel 6.1 Hasil pengujian nilai c_1 dan c_2

c_1, c_2	Nilai fitness percobaan ke-										Avg. fitness
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.496, 1.496	1084.2	1084.8	1089.4	1083.6	1086.2	1090.9	1087.0	1087.3	1088.5	1082.3	1086.4
1.5, 1.5	1082.3	1091.9	1135.3	1082.7	1091.8	1135.0	1083.1	1091.8	1134.6	1083.5	1101.2
1.6, 1.6	1084.0	1091.3	1086.6	1084.8	1089.3	1087.4	1085.6	1088.1	1087.7	1086.3	1087.1
1.7, 1.7	1089.5	1115.5	1111.2	1095.0	1110.3	1111.0	1099.0	1107.5	1110.1	1101.8	1105.1
1.8, 1.8	1092.5	1108.8	1087.1	1087.8	1090.6	1090.1	1089.8	1089.9	1089.9	1089.9	1091.7
1.9, 1.9	1270.9	1266.7	1102.8	1190.1	1229.9	1163.9	1177.5	1204.7	1183.5	1180.4	1197.0
2.0, 2.0	1204.8	1101.1	1195.6	1195.9	1193.2	1193.3	1193.4	1193.4	1193.4	1193.4	1185.7
2.05 2.05	1156.9	1092.4	1179.4	1172.0	1145.6	1156.8	1161.8	1156.5	1156.6	1158.3	1153.6

Pengujian nilai c_1 dan c_2 pada Tabel 6.1 memiliki rentang pengujian dimulai dari 1.496 sampai dengan 2.05. Kombinasi keduanya seringkali memiliki nilai yang sama antara c_1 dan c_2 , seperti pada CoPSO, *Stochastic*-PSO, GCPSO, dan WPSO sebesar 2.05. Pada increase-IW dan decrease-IW nilai c_1 dan c_2 masing-

masing sebesar 2, dan terakhir AIWPSO sebesar 1.496 (Bonyadi, et al., 2014). Hal ini membuktikan bahwa kombinasi optimal keduanya bernilai sama.

Nilai $c1$ dan $c2$ sebesar 1.496 merupakan nilai $c1$ dan $c2$ dengan nilai *fitness* paling baik atau yang terkecil diantara percobaan-percobaan dengan nilai lain yakni 1086.4. *Fitness* paling buruk diperoleh saat nilai $c1$ dan $c2$ sebesar 1.9 dengan nilai *fitness* berada pada nilai terbesarnya yakni 1197.0.



Gambar 6.1 Rata-rata fitness nilai $c1$ dan $c2$

Berdasarkan Gambar 6.1 nilai $c1$ dan $c2$ cenderung memiliki rata-rata *fitness* yang meningkat yang menandakan semakin buruknya nilai $c1$ dan $c2$. Nilai rata-rata *fitness* dengan $c1$ dan $c2$ sebesar 1.496 merupakan nilai terbaik dengan *fitness* 1086.4 sebelum naik lagi saat pengujian dengan nilai $c1$ dan $c2$ sebesar 1.5. Jika nilai $c1$ dan $c2$ diperbesar lagi dari 1.492 maka rata-rata *fitness* yang diperoleh cenderung lebih buruk, hal ini terjadi karena menurut Bonyadi, et al. (2014) nilai $c1$ dan $c2$ yang paling banyak dipakai salah satunya yakni 1.496, sedangkan menurut Marini & Walczak (2015) nilai $c1$ dan $c2$ berada pada nilai kurang dari sama dengan 4 dan nilai 2 merupakan nilai yang banyak diaplikasikan pada banyak kasus optimasi.

6.2 Pengujian Nilai w Terhadap Fitness

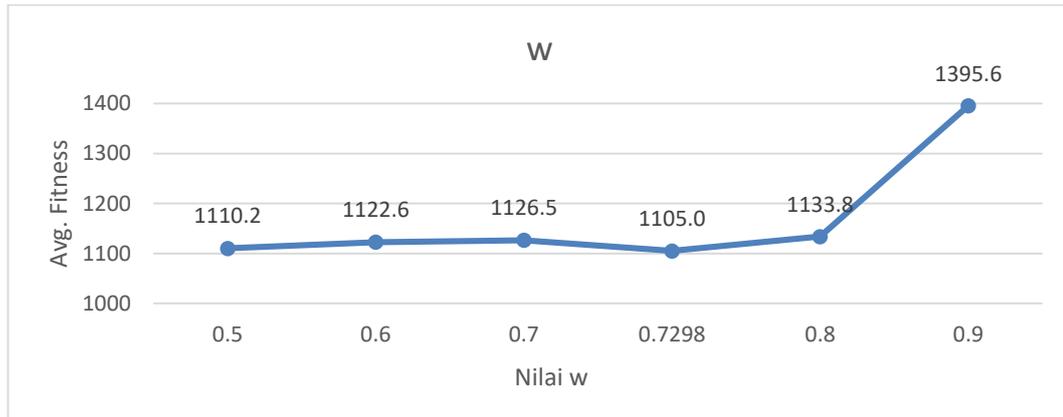
Tabel 6.2 Hasil pengujian nilai w

w	Nilai fitness percobaan ke-										Avg. Fitness
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0.5	1106.7	1084.2	1085.7	1102.2	1087.0	1115.5	1100.1	1138.3	1113.3	1168.9	1110.2
0.6	1115.0	1087.8	1089.2	1111.2	1090.0	1130.0	1102.2	1164.4	1118.2	1217.8	1122.6
0.7	1089.1	1110.0	1085.4	1122.0	1102.3	1143.1	1115.9	1166.5	1134.6	1195.6	1126.5
0.7298	1093.2	1082.2	1105.2	1089.8	1112.1	1100.4	1118.8	1108.5	1124.4	1115.6	1105.0
0.8	1145.1	1128.3	1111.4	1133.3	1120.8	1139.9	1127.8	1145.7	1134.6	1151.1	1133.8
0.9	1198.2	1365.1	1249.7	1458.1	1281.4	1574.2	1329.9	1737.5	1396.9	1364.6	1395.6

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh nilai w (inersia) pada nilai *fitness* yang dihasilkan. Karena PSOACO_R merupakan metode *stochastic* maka pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan dan dihitung *fitness* rata-ratanya. Nilai parameter selain jumlah iterasi dibuat tetap yakni nilai $c1$, $c2$, dan k

masing-masing 1.496, 1. 496, dan 0.5. Nilai parameter q , ξ , $popSize$, m , min konvergen, dan max iterasi masing-masing 0.005, 0.7, 100, 2, 50 dan 1000, sedangkan ruang pencarian intersep regresi yakni $[-100, 100]$ dan koefisien regresi $[-10, 10]$. Data latih yang dipakai mulai dari tahun 1967 sampai tahun 2006. Hasil pengujian nilai w dapat dilihat pada Tabel 6.2.

Range nilai w pada Tabel 6.2 dimulai dari 0.5 sampai 0.9, nilai w dibuat meningkat dengan selisih 0.1 dari nilai w percobaan sebelumnya. Nilai w sebesar 0.9 merupakan nilai w dengan nilai *fitness* paling buruk sebesar 1395.6. Nilai optimum dicapai saat nilai w sebesar 0.7298 dengan *fitness* 1105.0.



Gambar 6.2 Rata-rata fitness nilai w

Berdasarkan Gambar 6.2 nilai w yang berbeda mempengaruhi nilai rata-rata *fitness* yang dihasilkan oleh perangkat lunak. Nilai rata-rata *fitness* dengan nilai w sebesar 0.7298 merupakan nilai w terbaik. Jika nilai w ditingkatkan lagi mulai dari 0.8 sampai dengan 0.9 maka rata-rata *fitness* yang diperoleh tidak lebih baik dengan nilai *fitness* dengan w 0.7298 dan cenderung semakin memburuk untuk kasus pada penelitian ini, hal ini terjadi karena partikel dengan nilai w yang semakin mendekati 1 maka akan terjadi perlambatan tingkat konvergensi sehingga banyak partikel baru memiliki posisi yang berdekatan dengan partikel sebelumnya dan memerlukan iterasi lebih banyak untuk mencapai nilai yang mendekati global minimum. Jika w merupakan bersifat konstan nilai w terbaik dan sering digunakan adalah 0.7298 (Bonyadi, et al., 2014)

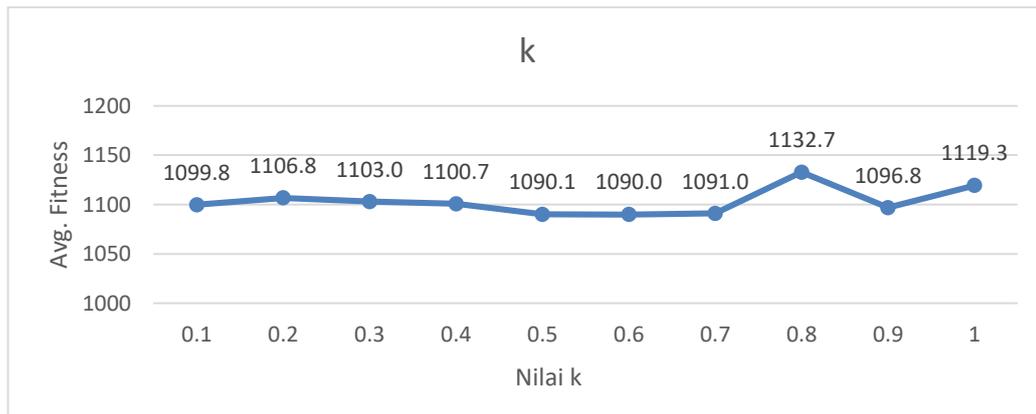
6.3 Pengujian Nilai k Velocity Clamping Terhadap Nilai Fitness

Pengujian nilai k bertujuan untuk mengetahui pengaruh terhadap nilai *fitness* yang dihasilkan. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan dan dihitung rata-rata *fitness*-nya. Nilai parameter selain nilai k dibuat tetap yakni nilai $c1$, $c2$, dan w masing-masing 1.496, 1. 496, dan 0.7298. Nilai parameter q , ξ , $popSize$, m , min konvergen, dan max iterasi masing-masing 0.005, 0.7, 100, 2, 50, dan 1000, sedangkan besar ruang pencarian intersep regresi atau b_0 yakni $[-100, 100]$ dan koefisien kemiringan regresi $[-10, 10]$. Data latih yang dipakai mulai dari tahun 1967 sampai tahun 2006. Hasil pengujian nilai k dapat dilihat pada Tabel 6.3.

Nilai k pada Tabel 6.3 dimulai sebanyak 0.1, nilai k dibuat berbeda meningkat dengan selisih 0.1 dari nilai k percobaan sebelumnya. Nilai k sebesar 0.8 merupakan nilai k dengan nilai *fitness* paling besar yakni 1132.7. Nilai optimum dicapai saat nilai *fitness* berada pada nilai terkecilnya yakni 1090.0 dengan nilai k sebesar 0.6.

Tabel 6.3 Hasil pengujian nilai k velocity clamping

k	Nilai fitness percobaan ke-										Avg. fitness
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0.1	1094.3	1137.9	1086.9	1094.3	1099.8	1094.8	1097.4	1100.3	1096.0	1096.4	1099.8
0.2	1104.6	1108.9	1093.4	1104.7	1112.9	1105.4	1109.3	1113.7	1107.1	1107.7	1106.8
0.3	1094.7	1093.5	1118.3	1094.8	1112.2	1096.3	1104.6	1114.0	1100.0	1101.3	1103.0
0.4	1092.1	1097.1	1114.9	1092.2	1109.0	1093.7	1101.6	1110.7	1097.2	1098.4	1100.7
0.5	1083.4	1090.8	1099.8	1083.5	1095.6	1084.5	1091.3	1096.8	1087.1	1088.0	1090.1
0.6	1090.9	1084.1	1083.4	1090.9	1096.5	1091.4	1084.0	1097.0	1092.6	1089.0	1090.0
0.7	1084.8	1106.3	1096.2	1084.9	1093.2	1085.6	1089.6	1094.1	1087.4	1088.0	1091.0
0.8	1089.6	1085.6	1212.0	1090.2	1180.3	1098.1	1140.8	1189.5	1117.1	1123.7	1132.7
0.9	1090.7	1096.6	1097.5	1098.7	1095.2	1089.3	1092.4	1095.9	1100.7	1111.1	1096.8
1	1118.4	1083.4	1090.1	1118.5	1139.4	1120.4	1130.2	1141.5	1124.8	1126.3	1119.3



Gambar 6.3 Rata-rata fitness nilai k

Berdasarkan Gambar 6.3 nilai k yang berbeda mempengaruhi nilai rata-rata *fitness* yang dihasilkan perangkat lunak. Nilai rata-rata *fitness* dengan nilai k mulai dari sebesar 0.1 sampai 0.9 cenderung naik turun, kemudian cenderung semakin memburuk mulai dari nilai k 0.7. Puncak nilai k terburuk yakni 0.8 dengan nilai *fitness* 1132.7 dan diikuti nilai 1 dan 0.2 terburuk kedua dan ketiga. Nilai rata-rata *fitness* terbaik diperoleh dengan nilai k sebesar 0.6 dengan nilai *fitness* terendah 1090.

Alasan nilai k dari 0.7 sampai dengan 1 memperoleh nilai rata-rata *fitness* cenderung memburuk salah satu yakni banyak partikel yang keluar dari ruang pencarian dan mencapai posisi local minimum yang disebabkan oleh perubahan kecepatan yang terlalu drastis, sehingga hasil *fitness* jauh dari yang diharapkan. Efek ini disebut dengan *velocity explosion* (Marini & Walczak, 2015). Jika nilai k terlalu kecil maka akan menghambat partikel untuk mencapai posisi yang lebih baik dan memerlukan iterasi yang lebih banyak.

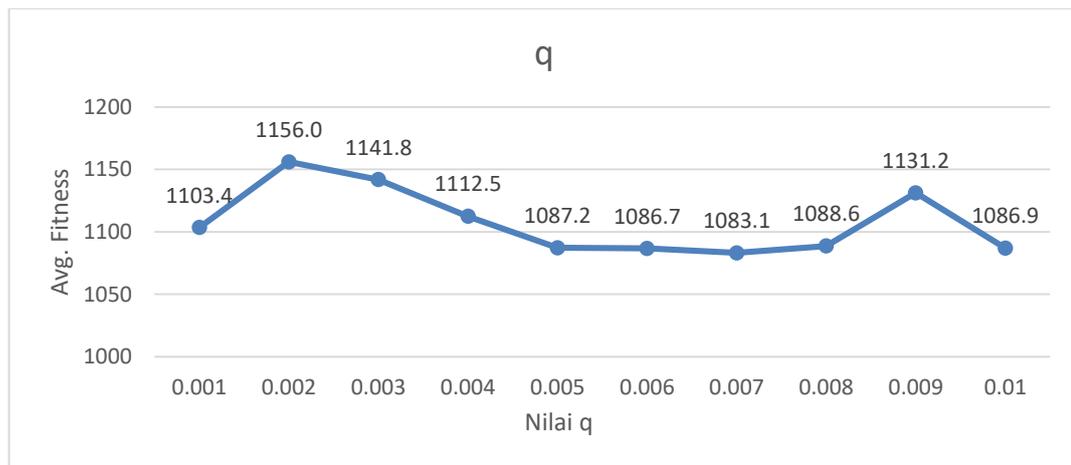
6.4 Pengujian Nilai q Terhadap Nilai Fitness

Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh nilai q pada nilai *fitness* yang dihasilkan oleh perangkat lunak. Nilai parameter selain nilai q dibuat sama selama proses pengujian yakni nilai $c1$, $c2$, w , dan k masing-masing 1.496, 1.496, 0.7298, dan 0.6. Nilai parameter ξ , $popSize$, m , min konvergen, dan max iterasi masing-masing 0.7, 100, 20, 50 dan 500, sedangkan ruang pencarian intersep regresi yakni $[-100, 100]$ dan koefisien kemiringan regresi $[-10, 10]$. Data latih yang dipakai mulai dari tahun 1967 sampai tahun 2006. Hasil pengujian nilai q dapat dilihat pada Tabel 6.4.

Tabel 6.4 Hasil pengujian nilai q

q	Nilai fitness percobaan ke-										Avg. fitness
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0.001	1119.7	1125.4	1084.4	1106.7	1095.8	1097.0	1090.6	1100.0	1104.6	1110.2	1103.4
0.002	1083.8	1099.1	1146.7	1186.4	1167.0	1169.2	1157.8	1174.6	1182.7	1192.6	1156.0
0.003	1083.1	1082.7	1135.4	1168.4	1152.3	1154.1	1144.6	1158.6	1165.3	1173.6	1141.8
0.004	1151.2	1082.2	1084.4	1126.6	1106.0	1108.3	1096.2	1114.0	1122.6	1133.2	1112.5
0.005	1084.3	1082.1	1087.1	1088.9	1088.0	1088.1	1087.6	1088.3	1088.7	1089.1	1087.2
0.006	1082.7	1090.4	1085.6	1087.4	1086.5	1086.6	1086.1	1086.9	1087.3	1087.7	1086.7
0.007	1082.2	1087.5	1082.5	1082.7	1082.6	1082.6	1082.6	1082.6	1082.7	1082.7	1083.1
0.008	1096.6	1082.3	1082.9	1091.5	1087.3	1087.8	1085.3	1089.0	1090.7	1092.9	1088.6
0.009	1094.5	1082.0	1128.3	1149.6	1139.2	1140.4	1134.3	1143.3	1147.6	1153.0	1131.2
0.01	1092.3	1084.9	1082.6	1088.7	1085.7	1086.1	1084.3	1086.9	1088.2	1089.7	1086.9

Nilai q pada Tabel 6.4 dimulai dari 0.001 sampai 0.01 karena semakin besar $popSize$ yakni berjumlah 100 maka nilai q harus semakin kecil, nilai q dibuat meningkat dengan selisih 0.001 dari nilai q percobaan sebelumnya. Nilai q sebesar 0.007 merupakan nilai q dengan nilai rata-rata *fitness* paling baik yakni 1083.1. Nilai q terburuk dicapai saat nilai q sebesar 0.002 dengan nilai rata-rata *fitness* sebesar 1156.0.



Gambar 6.4 Rata-rata fitness nilai q

Berdasarkan Gambar 6.4 nilai q yang berbeda mempengaruhi nilai rata-rata *fitness* yang dihasilkan perangkat lunak. Pada percobaan kedua dengan nilai q sebesar 0.002 nilai *fitness* yang dihasilkan hanya 1156.0 dan merupakan yang

terburuk diantara percobaan dengan nilai yang lain. Nilai rata-rata *fitness* terbaik diperoleh dengan nilai q sebesar 0.007 dengan nilai rata-rata *fitness* 1086.7. Jika nilai q kurang dari 0.007 maka rata-rata *fitness* yang diperoleh lebih buruk daripada nilai q 0.007, hal ini terjadi karena partikel yang dipilih untuk *generate* semut baru cenderung lebih memilih partikel dengan *fitness* bukan yang terbaik dan sulit mencapai *global minimum*.

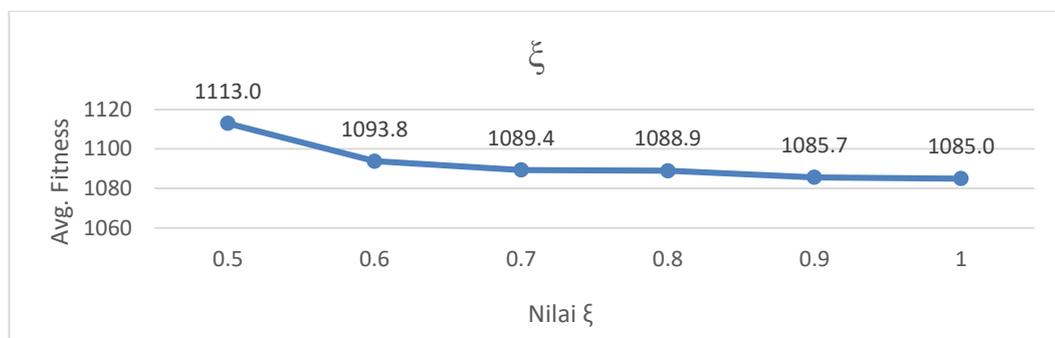
6.5 Pengujian Nilai ξ Terhadap Fitness

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh nilai ξ terhadap nilai *fitness* yang dihasilkan. Karena PSOACO_R merupakan metode *stochastic* maka pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan dan dihitung rata-rata *fitness*-nya. Nilai parameter selain ξ dibuat tetap yakni nilai $c1$, $c2$, w , dan k masing-masing 1.496, 1.496, 0.7298, dan 0.6. Nilai parameter q , $popSize$, m , min konvergen, max iterasi masing-masing 0.007, 100, 20, 50, dan 1000, sedangkan ruang pencarian bobot konstanta regresi yakni [-100, 100] dan koefisien regresi [-10, 10]. Data latih yang dipakai mulai dari tahun 1967 sampai tahun 2006. Hasil pengujian nilai ξ dapat dilihat pada Tabel 6.5.

Tabel 6.5 Hasil pengujian nilai ξ

ξ	Nilai fitness percobaan ke-										Avg. Fitness
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0.5	1143.7	1088.8	1119.2	1105.6	1101.1	1092.7	1098.9	1170.8	1102.2	1106.5	1113.0
0.6	1096.0	1082.5	1093.6	1095.8	1094.8	1095.2	1094.4	1094.8	1095.1	1095.9	1093.8
0.7	1082.0	1082.2	1087.9	1093.2	1090.9	1091.7	1089.8	1090.8	1091.5	1093.7	1089.4
0.8	1084.0	1082.2	1088.1	1091.8	1090.2	1090.8	1089.4	1090.1	1090.6	1092.1	1088.9
0.9	1083.9	1091.5	1084.7	1085.4	1085.1	1085.2	1085.0	1085.1	1085.2	1085.5	1085.7
1	1082.3	1090.2	1083.8	1085.2	1084.6	1084.8	1084.3	1084.5	1084.7	1085.3	1085.0

Hasil pengujian nilai ξ seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.5 dimulai dari 0.5 sampai 1, nilai ξ dibuat meningkat dengan interval 0.1. Nilai ξ fungsinya hampir mirip dengan nilai w pada PSO dan sama dengan *evaporation rate* pada ACO biasa yakni untuk mengatur tingkat konvergensi pada ACO_R. Nilai ξ sebesar 0.5 merupakan nilai ξ dengan nilai *fitness* paling buruk sebesar 1113.0, sedangkan nilai terbaik dicapai saat nilai ξ berada pada nilai 1 dengan *fitness* sebesar 1085.0.



Gambar 6.5 Rata-rata fitness nilai ξ

Berdasarkan Gambar 6.5 nilai ξ yang berbeda mempengaruhi nilai rata-rata *fitness* yang dihasilkan perangkat lunak. Nilai rata-rata *fitness* dengan nilai ξ bersifat fluktuatif sebesar 0.5 merupakan yang terburuk. Nilai rata-rata *fitness* terbaik diperoleh dengan nilai ξ sebesar 1 dengan nilai *fitness* terkecil diantara percobaan lainnya yakni sebesar 1085. Jika nilai $\xi > 0$, maka tingkat konvergensi akan semakin melambat (Socha & Dorigo, 2008).

6.6 Pengujian Jumlah Semut Baru Terhadap Fitness

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah m semut baru terhadap nilai *fitness* yang dihasilkan oleh perangkat lunak. Pengujian masing-masing jumlah semut dilakukan sebanyak 10 kali percobaan untuk mengetahui jumlah semut baru yang akan menghasilkan rata-rata *fitness* terbaik. Nilai parameter selain jumlah $popSize$ dibuat tetap yakni nilai $c1$, $c2$, w , dan k masing-masing 1.496, 1.496, 0.7298, dan 0.6. Nilai parameter q , ξ , $popSize$, min konvergen, dan max iterasi masing-masing 0.007, 1, 100, 50, dan 1000, sedangkan ruang pencarian bobot konstanta regresi yakni $[-100, 100]$ dan koefisien regresi $[-10, 10]$. Data latih yang dipakai mulai dari tahun 1967 sampai tahun 2006. Hasil pengujian jumlah semut baru ditampilkan pada Tabel 6.6.

Tabel 6.6 Hasil pengujian jumlah semut baru

m	Nilai fitness percobaan ke-										Avg. fitness
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	1126.6	1145.1	1082.0	1110.1	1098.2	1094.8	1099.6	1100.2	1125.2	1095.8	1107.8
4	1124.4	1086.1	1092.0	1112.4	1103.8	1101.3	1104.8	1105.3	1123.4	1102.0	1105.5
6	1082.0	1083.9	1083.3	1084.1	1083.8	1083.7	1083.8	1083.8	1084.6	1083.7	1083.7
8	1085.0	1083.3	1134.9	1166.3	1153.0	1149.2	1154.6	1155.3	1183.2	1150.3	1141.5
10	1088.1	1084.3	1014.9	1061.0	1041.4	1035.9	1043.8	1044.8	1085.8	1037.5	1053.8
20	1082.3	1158.2	1086.0	1088.3	1087.3	1087.1	1087.5	1087.5	1089.6	1087.1	1094.1
30	1083.3	1124.8	1083.8	1084.1	1084.0	1083.9	1084.0	1084.0	1084.3	1084.0	1088.0
40	1182.2	1119.2	1105.7	1153.9	1133.4	1127.7	1135.9	1137.0	1179.8	1129.3	1140.4
50	1208.6	1319.6	1091.5	1165.3	1134.0	1125.1	1137.7	1139.4	1204.9	1127.7	1165.4



Gambar 6.6 Rata-rata fitness jumlah semut baru

Jumlah popSize pada Tabel 6.6 dimulai sebanyak 2 semut baru, jumlah semut baru dibuat meningkat dengan selisih 2 semut mulai dari 4 sampai 8 semut dan selisih 10 mulai dari 10 sampai 50 semut baru. Jumlah m sebanyak 50 atau terbesar merupakan jumlah semut baru dengan nilai rata-rata *fitness* paling jelek sebesar 1165.4. Nilai optimum semut baru dicapai saat nilai *fitness* berada pada nilai terkecilnya yakni 1053.8 pada saat semut baru hanya sebanyak 10.

Pada grafik Gambar 6.6 jumlah semut baru paling baik dicapai dengan jumlah semut sebanyak 10 dengan rata-rata *fitness* paling kecil yakni sebesar 1053.8 Jumlah yang direkomendasikan oleh Socha & Dorigo (2008) yakni ≥ 2 untuk beragam besar popSize. Dalam grafik juga terlihat semakin besar jumlah semut juga tidak bagus karena set solusi (partikel) mengalami konvergensi dini akibat terlalu banyak semut baru.

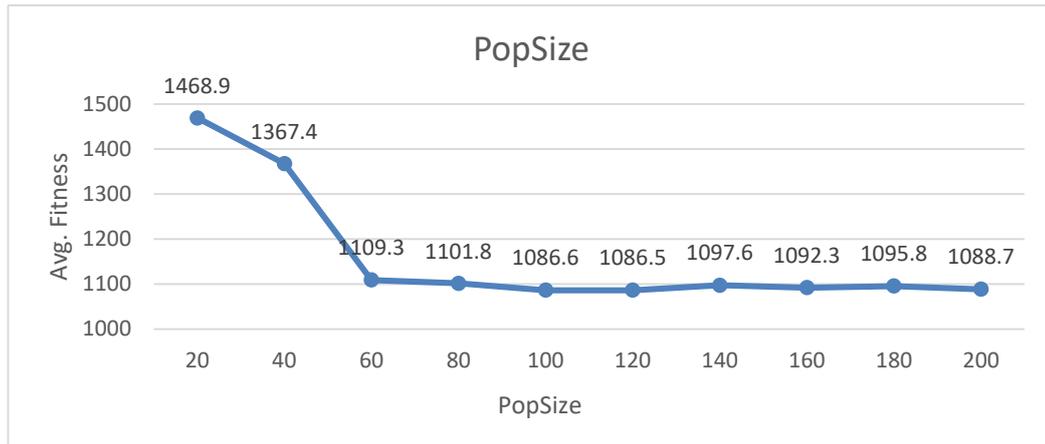
6.7 Pengujian Jumlah PopSize Terhadap Fitness

Tabel 6.7 Hasil pengujian jumlah popsize

PopSize	Nilai fitness percobaan ke-										Avg. fitness
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
20	1106.1	1095.0	1453.0	1568.6	1622.2	1542.3	1507.9	1548.0	1741.0	1504.8	1468.9
40	1107.3	1163.0	1349.9	1430.8	1468.3	1412.3	1388.3	1416.3	1551.3	1386.2	1367.4
60	1123.7	1111.0	1099.9	1107.8	1111.5	1106.0	1103.7	1106.4	1119.7	1103.5	1109.3
80	1083.5	1110.6	1098.4	1103.4	1105.7	1102.2	1100.8	1102.5	1110.8	1100.6	1101.8
100	1082.8	1082.3	1086.5	1087.7	1088.3	1087.5	1087.1	1087.5	1089.6	1087.1	1086.6
120	1082.7	1082.8	1086.3	1087.5	1088.1	1087.2	1086.9	1087.3	1089.3	1086.8	1086.5
140	1089.0	1100.3	1096.1	1098.5	1099.6	1097.9	1097.2	1098.0	1102.0	1097.2	1097.6
160	1098.7	1082.2	1090.0	1092.9	1094.2	1092.2	1091.4	1092.4	1097.2	1091.3	1092.3
180	1085.3	1082.0	1095.6	1099.0	1100.6	1098.3	1097.2	1098.4	1104.2	1097.1	1095.8
200	1082.4	1084.3	1088.2	1090.1	1091.0	1089.7	1089.1	1089.8	1093.0	1089.1	1088.7

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh besar parameter popSize terhadap nilai *fitness* yang dihasilkan perangkat lunak. Semakin besar popsize maka semakin beragam pula set solusi yang dibawa dan menghindari terjebak di *local minimum*. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan kemudian di rata-rata agar mengetahui iterasi dengan nilai *fitness* terbaik. Nilai parameter selain jumlah popSize dibuat tetap yakni nilai $c1$, $c2$, w , dan k masing-masing 1.496, 1.496, 0.7298, dan 0.6. Nilai parameter q , ξ , m , min konvergen, dan max iterasi masing-masing 0.007, 1, 10, 50, dan 1000, sedangkan ruang pencarian intersep regresi yakni [-100, 100] dan koefisien kemiringan regresi [-10, 10]. Data latih yang dipakai mulai dari tahun 1967 sampai tahun 2006. Hasil pengujian jumlah popSize dapat dilihat pada Tabel 6.7.

Jumlah popSize pada Tabel 6.7 dimulai sebanyak 20 *popSize*, nilai *popSize* dibuat meningkat dengan interval 20 dari *popSize* percobaan sebelumnya. Jumlah *popSize* sebanyak 20 merupakan jumlah *popSize* dengan nilai rata-rata *fitness* paling buruk sebesar 1468.9. Nilai optimum *popSize* dicapai saat nilai *fitness* berada pada nilai terkecilnya yakni 1086.5 dengan *popSize* sebanyak 120.



Gambar 6.7 Rata-rata fitness jumlah popSize

Berdasarkan Gambar 6.7 nilai *fitness* terburuk dihasilkan saat jumlah *popSize* sebanyak 20 dan terus mengalami perbaikan nilai *fitness* sampai *popSize* berjumlah 120. *PopSize* terbaik tercapai pada angka 120 dengan menghasilkan nilai *fitness* paling kecil yakni 1086.5. Hasil pada grafik juga menunjukkan bahwa setelah *popSize* berjumlah lebih besar 120 tidak mengalami perbaikan bahkan cenderung lebih buruk serta menghasilkan waktu komputasi yang lama.

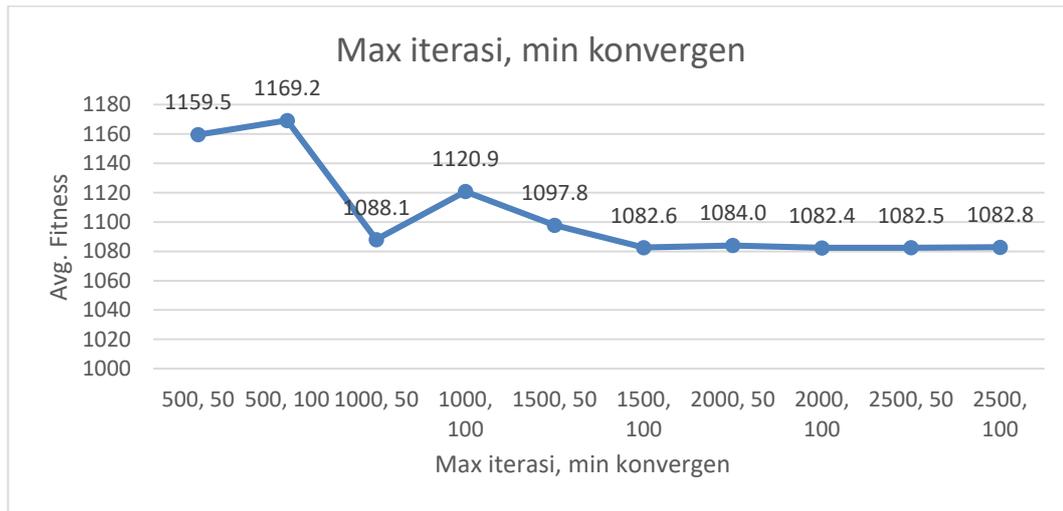
6.8 Pengujian Kriteria Berhenti Terhadap Fitness

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kriteria berhenti berupa minimum konvergen yakni nilai *fitness* antar iterasi bernilai sama secara berturut-turut sebanyak n iterasi serta max iterasi terhadap nilai *fitness* yang dihasilkan. Karena PSOACO_R merupakan metode *stochastic* maka pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan dan dihitung rata-ratanya. Nilai parameter selain min konvergen dan max iterasi dibuat tetap yakni nilai $c1$, $c2$, w , dan k masing-masing 1.496, 1.496, 0.7298, dan 0.6. Nilai parameter q , ξ , m , dan *popSize* masing-masing 0.007, 1, 10, dan 120, sedangkan ruang pencarian intersep regresi yakni [-100, 100] dan koefisien kemiringan regresi [-10, 10]. Data latih yang dipakai mulai dari tahun 1967 sampai tahun 2006. Hasil pengujian kriteria berhenti dapat dilihat pada Tabel 6.8.

Tabel 6.8 Hasil pengujian kriteria berhenti

<i>iterasi, konvergen</i>	Nilai fitness percobaan ke-										Avg. fitness
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
500, 50	1138.2	1087.0	1160.2	1141.1	1224.2	1161.3	1172.4	1180.7	1164.3	1166.0	1159.5
500, 100	1226.1	1083.5	1110.9	1085.3	1402.7	1116.8	1174.9	1218.1	1132.6	1141.2	1169.2
1000, 50	1082.1	1092.8	1084.2	1106.8	1089.7	1084.3	1085.4	1086.2	1084.6	1084.8	1088.1
1000, 100	1124.8	1082.1	1135.9	1082.1	1082.1	1136.5	1142.1	1146.2	1138.0	1138.8	1120.9
1500, 50	1086.2	1214.0	1082.8	1083.4	1090.9	1083.0	1084.7	1086.0	1083.4	1083.7	1097.8
1500, 100	1082.1	1082.0	1082.7	1082.3	1082.1	1082.7	1083.0	1083.3	1082.8	1082.9	1082.6
2000, 50	1088.7	1082.0	1082.0	1082.0	1082.0	1082.3	1085.7	1088.2	1083.3	1083.8	1084.0
2000, 100	1082.0	1083.1	1082.3	1082.0	1082.1	1082.3	1082.5	1082.6	1082.4	1082.4	1082.4
2500, 50	1082.2	1082.0	1082.6	1082.0	1082.0	1082.6	1082.8	1083.0	1082.7	1082.7	1082.5
2500, 100	1082.2	1082.2	1083.0	1082.0	1082.0	1083.0	1083.4	1083.7	1083.2	1083.2	1082.8

Nilai max iterasi pada Tabel 6.8 dimulai sebanyak 500 iterasi atau generasi, nilai iterasi dibuat meningkat dengan selisih 500 dari iterasi percobaan sebelumnya. Nilai min konvergen diuji antara dua pilihan yakni 50 atau 100 iterasi *fitness* yang sama untuk dinyatakan telah konvergen. Kombinasi max iterasi dan min konvergen sebanyak 500 dan 100 merupakan kombinasi dengan nilai *fitness* paling buruk yakni sebesar 1169.2. Nilai optimum dicapai saat max iterasi dan min konvergen sebesar 2000 dan 100 dengan nilai *fitness* terkecil sebesar 1082.4.



Gambar 6.8 Rata-rata fitness kriteria berhenti

Berdasarkan Gambar 6.8 kriteria berhenti yang berbeda mempengaruhi nilai rata-rata *fitness* yang dihasilkan perangkat lunak. Nilai rata-rata *fitness* dengan nilai max iterasi dan min konvergen sebesar 500 dan 100 merupakan yang terburuk dengan nilai *fitness* 1169.2. Nilai rata-rata *fitness* terbaik diperoleh dengan nilai max iterasi dan min konvergen sebesar 2000 dan 100 dengan nilai *fitness* 1082.4. Jika jumlah iterasi ditingkatkan lagi menjadi 2500 iterasi maka rata-rata *fitness* yang diperoleh tidak lebih baik dengan nilai *fitness* dengan nilai max iterasi dan min konvergen sebesar 2000 dan 100, hal ini terjadi karena solusi sudah mencapai konvergen sebelum mencapai jumlah iterasi yang diinginkan disamping efek buruk lainnya berupa waktu komputasi yang lebih lama (tidak diuji dalam penelitian ini).

6.9 Pengujian Pemodelan Regresi Linear Terhadap Nilai MAPE

Pemodelan regresi linear diperoleh dari pembentukan bobot intersep dan kemiringan koefisien regresi ($b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$). Bobot-bobot ini dioptimasi menggunakan metode *hybrid* PSO dan ACO_R disingkat PSOACO_R, nilainya diambil dari gbest iterasi terakhir PSOACO_R. Pemodelan-pemodelan regresi linear yang terbentuk dibandingkan MAPE-nya dan dipilih yang terbaik. Pemodelan regresi linear yang terbentuk dari 10 kali percobaan dapat dilihat pada Tabel 6.9.

Tabel 6.9 Hasil pengujian pemodelan regresi linear-PSOACO_R

	Nilai prediksi percobaan ke-									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
b0	-60.396	-60.936	-60.886	-60.841	-60.382	-60.632	-61.173	-60.423	-60.860	-60.847
b1	1.769	1.772	1.806	1.791	1.728	1.764	1.864	1.800	1.794	1.788
b2	-1.832	-1.834	-1.868	-1.854	-1.792	-1.826	-1.927	-1.863	-1.856	-1.851
b3	0.557	0.561	0.561	0.560	0.557	0.559	0.564	0.558	0.561	0.560
b4	-0.737	-0.740	-0.747	-0.744	-0.729	-0.737	-0.759	-0.734	-0.744	-0.742
b5	1.649	1.644	1.654	1.651	1.640	1.642	1.670	1.646	1.650	1.649
kondisi berhenti	max iterasi	max iterasi	max iterasi	max iterasi	max iterasi	max iterasi	max iterasi	max iterasi	max iterasi	max iterasi
fitness data latih	1082.20	1082.10	1082.00	1082.00	1082.40	1082.10	1082.30	1082.20	1082.00	1082.00
MAPE data uji	10.09	10.06	10.12	10.10	10.04	10.03	10.26	10.11	10.09	10.09

Dari Tabel 6.15 dapat diketahui rata-rata MAPE yang diperoleh pada data uji mulai dari tahun 2007 sampai 2016 sebesar 10.1%. MAPE dihitung pada data uji menggunakan Persamaan 2.22. Pemodelan regresi linear terbaik yang terbentuk dengan MAPE 10.03% yakni:

$$Y = -60.632 + 1.764X_1 - 1.826X_2 + 0.559X_3 - 0.737X_4 + 1.670X_5 \quad (6.1)$$

Berdasarkan bobot pemodelan regresi pada Tabel 6.9 maka dapat dilakukan prediksi konsumsi energi Indonesia dari tahun 2007 sampai 2016 (data uji). Untuk melihat lebih jelas nilai hasil prediksi beserta nilai aktualnya dapat melihat Tabel 6.10. Jika dilakukan prediksi menggunakan pemodelan regresi pada Persamaan 6.1 maka hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6.9.

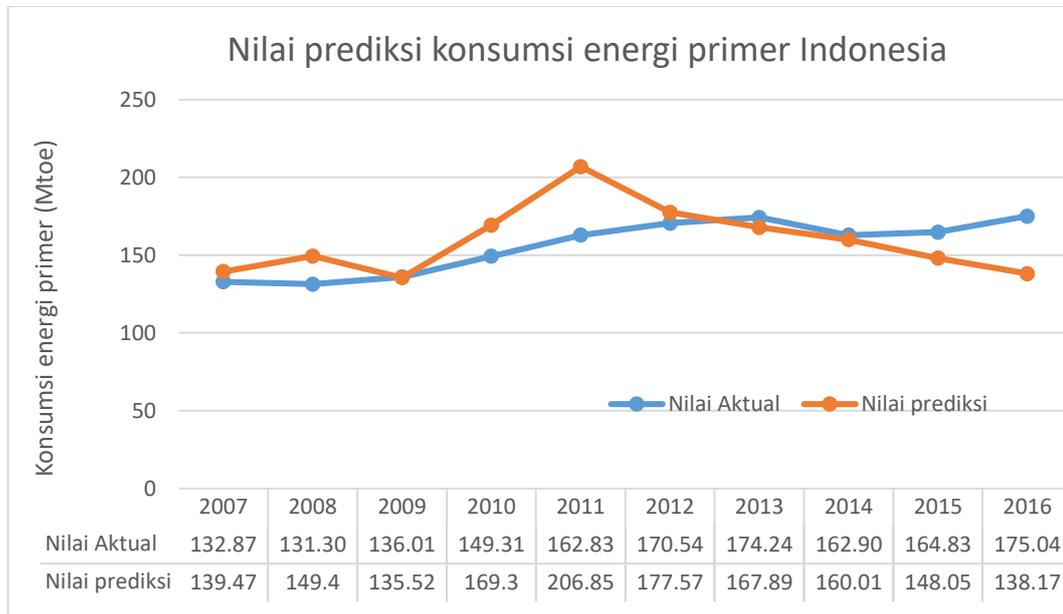
Tabel 6.10 Perbandingan nilai aktual dan prediksi

Tahun	Nilai aktual	Nilai prediksi percobaan ke-									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2007	132.87	139.53	139.26	139.31	139.35	139.55	139.47	139.11	139.36	139.36	139.36
2008	131.30	149.5	149.08	149.14	149.19	149.54	149.4	148.84	149.42	149.2	149.23
2009	136.01	135.46	135.24	135.29	135.33	135.44	135.52	134.98	135.33	135.38	135.36
2010	149.31	169.32	168.83	169.08	169.08	169.09	169.3	168.79	169.28	169.16	169.11
2011	162.83	207	206.23	206.59	206.58	206.72	206.85	206.27	206.89	206.66	206.62
2012	170.54	177.61	176.86	176.99	177.07	177.57	177.57	176.25	177.57	177.16	177.16
2013	174.24	167.88	167.17	167.21	167.33	167.93	167.89	166.33	167.8	167.41	167.42
2014	162.90	159.97	159.31	159.23	159.38	160.15	160.01	158.19	159.79	159.47	159.49
2015	164.83	147.88	147.46	147.40	147.51	147.96	148.05	146.5	147.69	147.62	147.6
2016	175.04	137.88	137.53	137.40	137.54	137.99	138.17	136.31	137.61	137.67	137.64
	MAPE	10.09	10.06	10.12	10.1	10.04	10.03	10.26	10.11	10.09	10.09

Pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui apakah perangkat lunak telah menghasilkan prediksi yang valid dengan cara melakukan proses prediksi sebanyak 10 kali dengan parameter tetap yang diperoleh dari hasil pengujian parameter-parameter sebelumnya yang ditunjukkan pada Tabel 6.9.

Berdasarkan Tabel 6.15, hasil pengujian sebanyak 10 kali menghasilkan nilai MAPE yang tidak berbeda jauh atau tidak fluktuatif maka perangkat lunak

dikatakan valid. Nilai MAPE terbesar yang dihasilkan sebesar 10.26% dan MAPE terkecil sebesar 10.03% dengan rata-rata MAPE 10.1% menunjukkan selisih MAPE terbesar dari rata-ratanya hanya 0.16%.



Gambar 6.9 Nilai aktual dan prediksi menggunakan pemodelan regresi terbaik

6.10 Perbandingan antara regresi-PSOACO_R dengan regresi-PSO dan regresi-ACO_R

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada skenario pengujian untuk mengetahui hasil MAPE pada pemodelan regresi linear yang terbentuk dan dinyatakan valid untuk dilakukannya prediksi maka selanjutnya dilakukan perbandingan prediksi konsumsi energi primer Indonesia dengan metode regresi-PSO dan regresi-ACO_R secara terpisah. Nilai parameter optimum dibuat sama antara regresi-PSOACO_R dan dapat dilihat pada Tabel 6.12.

Menurut Huang & Huang, (2013) untuk membandingkan antara PSOACO_R, PSO, dan ACO_R diperlukan penyetaraan perhitungan evaluasi. Sebuah evaluasi diartikan jumlah perhitungan nilai *fitness* pada suatu metode dikali jumlah max iterasi, oleh karena itu jumlah evaluasi pada PSOACO_R berjumlah $(120 + 10) \times 2000 = 260.000$. Jumlah tersebut harus dicapai oleh PSO dan ACO_R agar dinilai adil dalam melakukan perbandingan. Untuk lebih jelasnya, perhitungan jumlah evaluasi ditunjukkan pada Tabel 6.11.

Tabel 6.11 Perhitungan evaluasi PSO, ACO_R, dan PSOACO_R

Metode	Perhitungan jumlah evaluasi
PSO	Jumlah partikel \times max iterasi
ACO _R	Jumlah semut baru \times max iterasi
PSOACO _R	(Jumlah partikel + Jumlah semut baru) \times max iterasi

Tabel 6.12 Parameter pengujian PSOACO_R, PSO, dan ACO_R

Parameter	PSOACO _R	PSO	ACO _R
<i>c1</i>	1.496	1.496	
<i>c2</i>	1.496	1.496	
<i>w</i>	0.7298	0.7298	
<i>k velocity clamping</i>	0.6	0.6	
<i>q</i>	0.007		0.001
ξ	1		1
max iterasi	2000	2000	2000
min konvergen	100	100	500
<i>popSize</i>	120	130	
<i>archiveSize</i>			300
<i>m semut baru</i>	10		130
ruang pencarian intersep	[-100, 100]	[-100, 100]	[-100, 100]
ruang pencarian koefisien kemiringan	[-10, 10]	[-10, 10]	[-10, 10]
Jumlah evaluasi	260000	260000	260000

Tabel 6.13 Hasil pengujian pemodelan regresi linear-PSO

	Nilai prediksi percobaan ke-									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
b0	-60.481	-60.902	-60.895	-61.029	-59.258	-61.059	-60.850	-60.424	-61.149	-60.606
b1	1.731	1.813	1.819	1.811	1.617	1.826	1.847	1.694	1.891	1.721
b2	-1.794	-1.875	-1.881	-1.873	-1.685	-1.888	-1.908	-1.757	-1.952	-1.784
b3	0.557	0.561	0.561	0.562	0.547	0.562	0.561	0.557	0.563	0.558
b4	-0.728	-0.748	-0.749	-0.747	-0.683	-0.752	-0.753	-0.730	-0.766	-0.732
b5	1.637	1.656	1.657	1.653	1.611	1.658	1.663	1.635	1.674	1.637
Fitness	1082.4	1082	1082	1082	1084.9	1082.1	1082.1	1082.7	1082.5	1082.4
Kondisi berhenti	max iterasi	max iterasi	max iterasi	max iterasi	max iterasi	max iterasi	max iterasi	max iterasi	max iterasi	max iterasi
MAPE data uji	10	10.14	10.15	10.12	9.95	10.15	10.19	9.95	10.25	9.99

Tabel 6.14 Hasil pengujian pemodelan regresi linear-ACO_R

	Nilai prediksi percobaan ke-									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
b0	-65.519	-67.566	-69.719	-61.550	-65.597	-64.350	-60.501	-51.612	-67.130	-58.428
b1	1.353	2.403	1.758	4.026	1.950	1.793	2.323	0.935	1.310	1.540
b2	-1.455	-2.453	-1.765	-4.049	-2.001	-1.842	-2.424	-1.030	-1.371	-1.638
b3	0.591	0.616	0.625	0.564	0.583	0.587	0.554	0.486	0.582	0.542
b4	-0.640	-0.865	-0.765	-0.755	-0.370	-0.729	-0.592	-0.464	-0.661	-0.680
b5	1.581	1.707	1.420	1.819	1.329	1.563	1.724	1.527	1.570	1.703
Fitness	1179	1131.8	1166.9	1427.8	1229.6	1092.8	1143.3	1224.3	1314.3	1104.2
Kondisi berhenti	max iterasi	max iterasi	konvergen	konvergen	konvergen	max iterasi				
MAPE data uji	11.19	11.27	8.38	13.02	13.33	9.39	12.23	14.12	12.35	10.95

Hasil rata-rata MAPE pada Tabel 6.15 menunjukkan PSOACOR tidak lebih baik daripada PSO sendiri. Dari hasil 10 kali percobaan pemodelan regresi - PSO yang ditunjukkan pada Tabel 6.13 memiliki performa terbaik dengan nilai rata-rata MAPE 10.09% selisih tipis dibanding regresi-PSOACOR yang hanya 10.1%, dan regresi-ACOR pada posisi terburuk dengan nilai rata-rata MAPE tidak lebih baik dibanding keduanya yakni sebesar 11.62%.

Tabel 6.15 Hasil pengujian MAPE antara ACO_R, PSO dan PSOACO_R

Metode	Nilai MAPE percobaan ke-										Avg. MAPE
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Regresi-PSOACO _R	10.09	10.06	10.12	10.10	10.04	10.03	10.26	10.11	10.09	10.09	10.10
Regresi-PSO	10.00	10.14	10.15	10.12	9.95	10.15	10.19	9.95	10.25	9.99	10.09
Regresi-ACO _R	11.19	11.27	8.38	13.02	13.33	9.39	12.23	14.12	12.35	10.95	11.62
Regresi Biasa											10.12

Tabel 6.16 Hasil pengujian waktu komputasi antara ACO_R, PSO dan PSOACO_R

Metode	Waktu komputasi percobaan ke-										Avg. (ms)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
PSOACO _R	79437	81901	77672	79540	80334	78109	79911	81452	80754	79883	79899
PSO	59078	62309	62900	58721	60552	61295	59302	61486	57347	60283	60327
ACO _R	164821	166671	168273	168211	165968	163290	167956	164730	166558	167869	166435

Dari Tabel 6.15 dapat disimpulkan bahwa metode hybrid PSO dan ACO_R (PSOACO_R) memiliki rata-rata MAPE tidak lebih baik jika dibandingkan dengan pemodelan regresi linear-PSO biasa meski hanya memiliki selisih rata-rata *fitness* sebesar 0.01%, hal ini disebabkan karena metode PSO sudah tergolong sangat baik untuk menyelesaikan permasalahan penelitian ini dan hibridasi antara dua metode optimasi dimana PSO memiliki hasil terbaik dan ACO_R memiliki hasil terburuk menghasilkan perpaduan dengan nilai MAPE diantara keduanya.

Dari segi waktu komputasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.16 terlihat pemodelan regresi-PSO lebih superior dibandingkan regresi-PSOACO_R maupun regresi-ACO_R. Salah satu penyebabnya karena demi menyetarakan jumlah evaluasi maka ukuran *archiveSize* ACO_R membengkak menjadi 300 yang otomatis membuat waktu komputasi menjadi lebih lama. Sedangkan pemodelan regresi-PSOACO_R memiliki waktu komputasi lebih lama dari PSO penyebabnya karena pemodelan ini bersifat *hybrid* sehingga memerlukan kode program lebih banyak meskipun dari sisi *popSize* lebih sedikit daripada regresi-PSO (Tabel 6.12).

Beberapa alasan mengapa regresi-PSOACO_R tidak lebih baik dari regresi PSO yakni:

1. PSO memang dirancang untuk menyelesaikan kasus optimasi kontinyu sedangkan ACO_R merupakan pengembangan dari ACO untuk mengatasi kasus optimasi diskrit/kombinatorial, sehingga kedua metode *swarm* ini kurang cocok dilakukan hibridasi.
2. ACO_R seringkali terjebak local minimum hal ini dibuktikan pada penelitian Huang & Huang, (2013) dan seperti ditunjukkan pada Tabel 6.14. Set solusi

berupa nilai intersep (b_0) dan koefisien kemiringan regresi (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5) yang dihasilkan ACO_R bersifat lebih fluktuatif dibandingkan dengan set solusi yang dihasilkan oleh PSO (Tabel 6.13). Jika ACO_R digunakan untuk mengoptimasi PSO menjadi *hybrid* PSOACO_R hasilnya menjadi tidak lebih baik dari segi MAPE data uji maupun dari segi waktu komputasi.

3. Hybrid PSOACO_R yang digunakan pada penelitian ini berasal dari penelitian Huang & Huang, (2013) untuk memecahkan masalah klustering. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan penggunaan regresi linear-PSOACO_R kurang cocok dan tidak lebih baik dari penggunaan regresi linear-PSO saja jika digunakan pada permasalahan prediksi konsumsi energi primer Indonesia.
4. Jika diteliti lagi dari bagian yang dioptimasi dari PSO oleh ACO_R yakni bagian tabel partikel, pbest, dan gbest letak atau posisi yang di-*replace* (diganti) menjadi jauh dari posisi sebelumnya meski dari sisi *fitness* lebih baik. Jika tahap iterasi kembali lagi ke tahap PSO maka partikel, pbest, gbest yang di-*replace* oleh ACO_R maka posisi set solusi tersebut akan diperbaiki lagi sehingga lebih mempersulit PSOACO_R untuk mencapai global minimum.

Jika ketiga metode metaheuristik dibandingkan dengan pemodelan regresi linear tanpa optimasi menggunakan aplikasi Minitab hasil yang diperoleh sedikit lebih baik dengan MAPE data uji sebesar 10.12% dengan waktu komputasi hampir 0ms karena tidak memerlukan adanya iterasi. Hal ini menandakan bahwa penggunaan pemodelan regresi linear saja tanpa optimasi sudah tergolong sangat baik, bahkan lebih baik daripada penggunaan pemodelan regresi linear- ACO_R .

Pada Tabel 6.14 dan Tabel 6.15 juga dapat disimpulkan bahwa metode regresi- ACO_R memiliki rata-rata MAPE 11.62% yang masih tergolong bagus karena MAPE dibawah 20%, akan tetapi nilai antara satu percobaan dengan percobaan lain bersifat lebih fluktuatif sehingga kurang cocok untuk dipakai untuk prediksi konsumsi energi primer. Salah satu penyebabnya ACO_R sering terjebak ke *local minimum* dan masih tergolong metode swarm baru yakni tahun 2008 juga kurangnya pengembangan ACO_R sendiri dibandingkan dengan metode PSO yakni tahun 2005.