

# STUDI KOMPARASI ANALISIS NORMATIF ANTARA METODE CIPW DENGAN METODE PEMROGRAMAN LINEAR (LPNORM)

## *(A Comparative study of norm analyses between CIPW and Linear Programming (LPNORM) methods)*

I Wayan Warmada, Agus Hendratno & Wahyu Sasongko\*)

### ABSTRAK

*The norm analyses for igneous, sedimentary and metamorphic rocks are performed to calculate the mineral composition of mostly fine-grained rocks, such as volcanic rocks, pelitic sediment (clay, silt and shale), and metamorphic rocks (slate and phyllite). However, the coarse-grained rocks are also possible, especially for volume-percent calculation of mineral composition in the rocks. The comparative study between CIPW norm and LPNORM shows slightly different results. Plagioclase, pyroxene, ilmenite and apatite minerals have a consistent result in both CIPW and LPNORM. Orthoclase, olivine and magnetite minerals are raised in CIPW norm, whereas biotite can only be calculated by LPNORM. The different results of these methods are because of different basic principles of both methods. The CIPW norm can be used only for water-free standard minerals (anhydrous minerals) or assumed as anhydrous rocks, whereas LPNORM, which is based on linear optimization, can be used both hydrous and anhydrous rocks. Both methods has disadvantage to determine glass volcanic content in the volcanic rocks. Thus, a combination of CIPW, LPNORM and petrography will give mineral composition more representative.*

## I. PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang

Analisis normatif hingga saat ini masih merupakan metode untuk menentukan komposisi mineral yang didasarkan atas hasil analisis kimia batuan. Analisis normatif yang sangat populer di dalam petrologi batuan beku adalah CIPW. Dengan kemajuan teknologi komputasi, telah muncul beberapa metode analisis normatif yang telah dikembangkan, seperti SEDNORM (normatif untuk batuan sedimen, pelitik), MESONORM (normatif untuk batuan metamorf), dan LPNORM (normatif untuk bermacam-macam batuan).

Pada tulisan ini akan dibandingkan analisis normatif dengan metode CIPW yang sudah umum digunakan dalam petrologi batuan beku dan analisis dengan metode LPNORM. Metode LPNORM (*Linear Programming Normative*) merupakan metode normatif yang relatif baru, dimana penggunaannya tidak hanya terbatas untuk batuan sedimen. Dengan membandingkan kedua metode tersebut, maka akan dapat diketahui kelemahan dan kelebihan masing-masing. Data yang akan digunakan diambil dari hasil analisis lava andesit daerah Grenjeng dan sekitarnya, Kecamatan Sambu, Kabupaten Boyolali, Propinsi Jawa Tengah.

### I.2. Tinjauan pustaka

Analisis secara normatif adalah suatu metode untuk memperlihatkan atau menyajikan komposisi kimia dari suatu conto batuan. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menentukan komposisi mineralogi batuan berdasarkan komposisi kimianya. Dalam perhitungan normatif, bermacam-macam komposisi oksida batuan, baik ditentukan dengan analisis kimia konvensional maupun AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*) dikombinasikan dalam bentuk

---

\*) Dr. Ir. I Wayan Warmada, Agus Hendratno, S.T., M.T. dan Wahyu Sasongko, S.T., M.T. adalah Staf Pengajar Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik UGM.

suatu susunan dan selanjutnya membentuk suatu seri mineral-mineral normatif (Carmichael, dkk., 1974).

Perhitungan atau estimasi komposisi mineral pada batuan dari analisis kimia sudah lama diperkenalkan dalam disiplin geokimia dan mineralogi. Metode normatif pertama yang digunakan untuk batuan beku dikenal dengan nama *CIPW norms* (Cross, dkk., 1902; Hall, 1987; Kelsey, 1965). Prosedur ini terdiri dari pendistribusian unsur-unsur ke dalam suatu seri mineral hipotetik yang tidak harus hadir pada batuan, mengikuti suatu sekuen kristalisasi yang dihasilkan dari pengamatan petrografi dan termodinamika.

Mineral yang diperhitungkan dalam analisis ini adalah mineral-mineral anhydrous, oleh karena itu batuan yang mengandung gugus hidroksil atau hidraesensial akan memperlihatkan penyimpangan, di antaranya: amfibol atau mika dalam normatif akan diwakili oleh mineral hidrous sederhana. Sebagai contoh mineral muskovit ( $KAl_2Si_3O_8(OH)_2$ ) dalam normatif akan diperhitungkan sebagai mineral-mineral ortoklas ( $KAlSi_3O_8$ ), korundum ( $Al_2O_3$ ) dan  $H_2O$ . Demikian juga mineral biotit dalam normatif akan diwakili oleh mineral leusit dan olivin. Dalam batuan yang lebih asam, leusit dan olivin akan diganti oleh ortoklas dan hipersten (Hall, 1987).

Pada perkembangan selanjutnya, muncul beberapa metode normatif lain yang menggunakan prinsip perhitungan yang berbeda dengan metode CIPW, seperti metode MESONORM (Hutchison, 1974), SEDNORM (Cohen & Ward, 1991), PELNORM (Merodio, dkk., 1992), MODUSCALC (Laube, dkk., 1996), dan LPNORM (Caritat, dkk., 1994). Metode LPNORM merupakan metode normatif yang didasarkan atas kesetimbangan kimia dalam batuan, yang dihitung dengan metode *linear optimization / linear programming*. Berbeda dengan metode CIPW yang mendistribusikan unsur-unsur ke dalam suatu seri mineral hipotetik serta mengikuti suatu sekuen kristalisasi, metode LPNORM mendistribusikan oksida batuan berdasarkan kumpulan persamaan linear, yang diselesaikan secara simultan dengan menggunakan metode matematis, dan dikenal sebagai pemrograman linear atau optimisasi linear (Caritat, dkk., 1994). Metode pemrograman linear seperti ini pada awalnya digunakan untuk menyelesaikan masalah tentang campuran petrologik / *petrologic mixing* (Wright & Doherty, 1970).

## II. PENGAMBILAN DAN PENGOLAHAN DATA

Conto batuan yang diambil di daerah Grenjeng, Kabupaten Boyolali, kemudian dianalisis, baik secara petrografi maupun petrokimia. Analisis petrokimia dilakukan di Laboratorium Geokimia, Direktorat Vulkanologi - Yogyakarta (Warmada, 1996).

Hasil analisis oksida batuan dihitung dengan menerapkan metode CIPW maupun metode LPNORM dengan menggunakan perangkat komputer. Perhitungan dengan metode CIPW dilakukan dengan perangkat lunak NewPet (Clarke, 1994), sedangkan perhitungan dengan metode pemrograman linear dilakukan dengan perangkat lunak LPNORM. Hal ini bertujuan untuk mencari hasil perhitungan dengan kesalahan rambatan sekecil-kecilnya (Le Maitre, 1982). Selanjutnya, data hasil perhitungan ini dicek dengan hasil pengamatan petrografi. Perbandingan kedua metode ini dilakukan dengan cara memplot hasil hitungan pada diagram bujursangkar.

## III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### III.1. Hasil Penelitian

#### III.1.1. Petrografi Lava Grenjeng

Lava andesit Grenjeng dijumpai dalam keadaan segar di bagian bawah dan di beberapa tempat teralterasi sebagian di bagian atas. Alterasi yang dijumpai berupa oksidasi terhadap mineral yang kaya akan unsur besi, seperti mineral-mineral mafik baik sebagai fenokris maupun masa dasar. Dari pengamatan sayatan tipis, pada bagian pinggir fenokris telah

mengalami alterasi, mineral-mineral mafik seperti piroksen cukup sulit diidentifikasi.

Secara megaskopis lava Grenjeng berwarna lapuk hitam keabu-abuan, warna segar abu-abu gelap, struktur vesikuler dan amigdaloidal, tekstur inequigranular, porfiroafanitik, hipokristalin, dengan ukuran fenokris 1 - 5 mm, massa dasar < 1 mm - afanitik. Fenokris terdiri dari mineral-mineral plagioklas, piroksen, dan kuarsa, sedangkan massa dasar terdiri dari mineral-mineral mafik dan felsik. Lubang-lubang gas kadang terisi oleh kuarsa, penyebarannya  $\pm 15\%$ .

Pada sayatan tipis, batuan berwarna abu-abu cerah kecoklatan, tekstur porfiritik, bentuk kristal subhedral, ukuran fenokris 0,5 - 5 mm, massa dasar 0,1 mm - 0,3 mm, tekstur khusus trakitik. Komposisi fenokris terdiri dari mineral plagioklas (jenis andesin), piroksen (jenis augit), kuarsa dan massa dasar berupa mineral plagioklas, piroksen dan mineral opak.

### **Karakteristik mineralogi**

**Plagioklas.** Mineral plagioklas terjadi sebagai kristal subhedral sampai euhedral dalam massa dasar dan sebagai fenokris euhedral sampai subhedral. Mineral plagioklas berukuran 0,1 - 9 mm.

Kembaran yang dijumpai berupa kembaran karlsbad dan albit. Sudut gelap pada kembaran albit berkisar antara  $47^\circ$  sampai  $48^\circ$ , jenis andesin. Kelimpahan mineral plagioklas berkisar antara 35% sampai 58%.

**Piroksen.** Pada lava Grenjeng hanya dijumpai 2 jenis mineral piroksen, yaitu kuno-piroksen (jenis Augit) dan ortopiroksen. Piroksen terdapat dalam 2 generasi, yaitu sebagai fenokris dan sebagai massa dasar. Kelimpahannya 13% - 34%.

**Kuarsa.** Pada lava Grenjeng mineral kuarsa dijumpai sebagai massa dasar dan pengisi lubang-lubang gas pada struktur *amygdaloidal*. Kelimpahan kuarsa 5% - 15%.

**Gelas vulkanik.** Gelas vulkanik hanya dijumpai dalam jumlah yang kecil, sebagai massa dasar. Kelimpahannya berkisar antara 5% sampai 15%.

**Mineral opak.** Mineral opak cukup melimpah pada batuan ini, yaitu berkisar antara 8% sampai 15%. Secara mikroskopis tidak dapat ditentukan jenis mineral ini. Dari perhitungan secara normatif, maka jenis mineral ini meliputi mineral magnetit dan ilmenit.

## **III.1.2. Kimia batuan dan perhitungan normatif**

### **Kimia batuan**

Hasil analisis kimia 10 contoh batuan yang diambil di lapangan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

**TABEL 1:** Hasil analisis oksida lava Grenjeng

	BNQ-1	BNQ-2	BNQ-3	BNQ-4	BNQ-5	BNQ-6	BNQ-7	BNQ-8	BNQ-9	BNQ-10
SiO <sub>2</sub>	50,3	50,06	50,03	49,95	46,95	50,1	49,52	49,61	48,99	51,39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,14	17,01	18,68	18,69	18,87	18,28	18,46	17,2	18,76	17,87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,59	1,59	1,51	1,52	1,64	1,53	1,53	1,61	1,6	1,55
FeO	8,11	8,12	7,69	7,73	8,36	7,8	7,82	8,18	8,16	7,92
CaO	10,57	10,24	10,04	8,83	8,96	8,5	9,9	10,25	10,29	9,76
MgO	3,28	3,33	3,56	2,55	3,67	3,37	2,62	3,59	3,84	3,95
Na <sub>2</sub> O	3,03	3,07	3,03	2,72	2,45	2,49	3,18	2,93	2,99	3,09
K <sub>2</sub> O	1,47	1,03	1,57	1,38	1,49	1,14	1,4	1,54	1,65	1,55
MnO	0,19	0,66	0,25	0,2	0,17	0,15	0,14	0,16	0,16	0,16
TiO <sub>2</sub>	1,05	1,49	1,08	1,24	1,31	1,33	1,15	1,21	0,92	0,9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,3	0,5	0,37	0,38	0,38	0,38	0,33	0,39	0,26	0,3
H <sub>2</sub> O	0,38	0,26	0,25	0,75	0,83	0,58	0,57	0,25	0,38	0,19
LOI*	1,62	1,67	1,05	3,17	3,89	3,37	2,43	2,07	1,34	0,44

\*LOI = loss on ignition

## Perhitungan normatif

**TABEL 2:** Hasil analisis normatif lava Grenjeng  
*Norm (dengan CIPW)*

	BNQ-1	BNQ-2	BNQ-3	BNQ-4	BNQ-5	BNQ-6	BNQ-7	BNQ-8	BNQ-9	BNQ-10
Kuarsa	-	1,01	-	3,49	-	4,95	-	-	-	-
Ortoklas	8,26	6,09	9,28	8,16	8,81	6,74	8,27	9,1	9,75	9,16
Albit	25,64	25,97	25,64	23,01	20,73	21,07	26,91	24,79	25,3	26,14
Anortit	28,83	29,6	32,74	34,72	36,1	35,34	31,97	29,24	32,9	30,32
Diopsid	18,16	15,04	12,24	5,57	4,91	3,63	12,64	15,94	13,74	13,45
Hipersten	9,19	13,1	8,58	14,81	15,51	17,72	9,61	9,51	0,18	13,33
Olivin	1,53	-	4,25	-	2,46	-	1,48	2,56	11,09	1,39
Magnetit	2,31	2,31	2,19	2,2	2,38	2,22	2,22	2,33	2,32	2,25
Ilmenit	1,99	2,83	2,05	2,35	2,49	2,53	2,18	2,3	1,75	1,71
Apatit	0,71	1,18	0,88	0,9	0,9	0,9	0,78	0,92	0,62	0,71
An-norm	53,93	53,27	56,08	60,14	63,52	62,65	54,3	54,12	56,53	53,7
D.I.**	34,33	33,07	34,92	34,66	29,54	32,76	35,18	33,89	35,05	35,3
C.I.***	33,89	34,56	30,19	25,83	28,65	27	28,91	33,56	29,7	32,84
S.I.****	17,84	18,45	19,54	15,21	19,8	19,59	15,04	19,14	20,05	20,84

**TABEL 3:** Hasil analisis normatif lava Grenjeng (lanjutan)  
*Norm (dengan LPNORM)*

	BNQ-1	BNQ-2	BNQ-3	BNQ-4	BNQ-5	BNQ-6	BNQ-7	BNQ-8	BNQ-9	BNQ-10
Kuarsa	-	2,5	2,5	1,5	-	7,72	-	-	-	3,83
Ortoklas	-	-	-	-	2,89	-	0,02	1	1	0,53
Albit	25,64	25,98	25,64	23,02	20,73	21,07	26,91	24,79	25,3	26,15
Anortit	28,83	29,59	32,73	34,71	36,09	35,34	31,96	29,23	32,89	30,31
Diopsid	18,28	10,72	7,56	9,03	5,83	1,82	14,89	15,11	7,22	6,74
Hipersten	6,57	14,13	12,12	7,1	15,86	15,77	4,72	7,63	15,93	15,54
Biotit	12,88	8,75	13,71	12,5	8,5	9,69	12,62	13,99	12,58	13,2
Ilmenit	1,99	2,83	2,05	2,35	2,49	2,53	2,18	2,3	1,75	1,71
Apatit	0,71	1,18	0,87	0,9	0,9	0,9	0,78	0,92	0,61	0,71
An (norm)	52,93	53,25	56,07	60,12	63,52	62,65	54,29	54,11	56,52	53,68
D.I.**	25,64	28,48	28,14	24,52	23,62	28,79	26,93	25,79	26,3	30,51
C.I.***	27,55	28,86	22,6	19,38	25,08	21,02	22,57	25,96	25,51	24,7

\*\* D.I. = *differentiation index*

\*\*\* C.I. = *color index*

\*\*\*\* S.I. = *solidification index*

## III.2. Pembahasan

Perhitungan normatif dengan metode pemrograman linear memiliki kemiripan hasil pada beberapa jenis mineral, seperti mineral plagioklas (albit-anortit), piroksen (diopsid-hipersten), ilmenit, dan apatit. Hal ini terjadi karena komponen utama keempat mineral ini tidak dipengaruhi oleh kondisi hidrus atau anhidrus atau tidak dapat membentuk mineral-mineral hidrus anggota mineral pembentuk batuan (*rock forming minerals*).

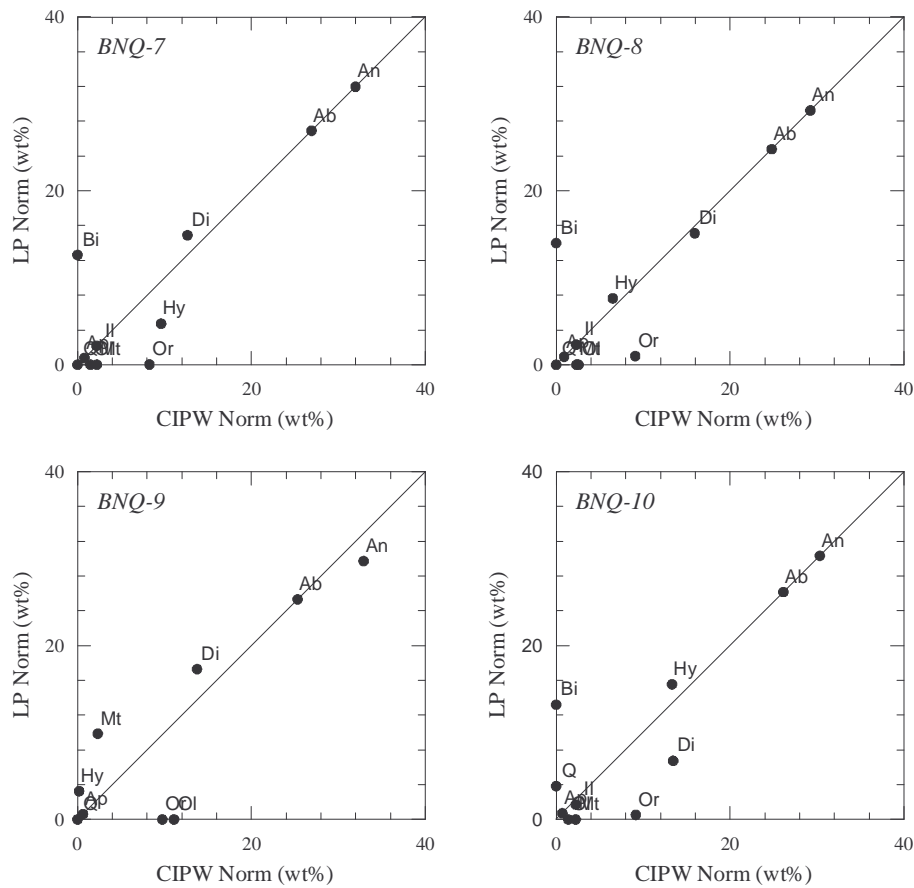
Mineral-mineral lain, seperti ortoklas, olivin, dan magnetit, yang muncul pada perhitungan CIPW, tidak muncul pada perhitungan LPNORM. Namun sebaliknya, biotit hanya dapat dimunculkan pada perhitungan dengan metode LPNORM. Hal ini disebabkan karena pada kondisi hidrous (metode LPNORM), mineral ortoklas, olivin dan sebagian hipersten akan dihitung sebagai biotit. Ini dapat dilihat pada hampir semua conto batuan yang kaya akan mineral biotit nilai hipersten menjadi lebih kecil dibandingkan dengan nilai hipersten pada analisis CIPW (Gambar 1 dan 2).

Perhitungan normatif dengan metode Linear Programming cukup akurat digunakan untuk analisis normatif batuan beku. Penyimpangan pada beberapa mineral terjadi karena

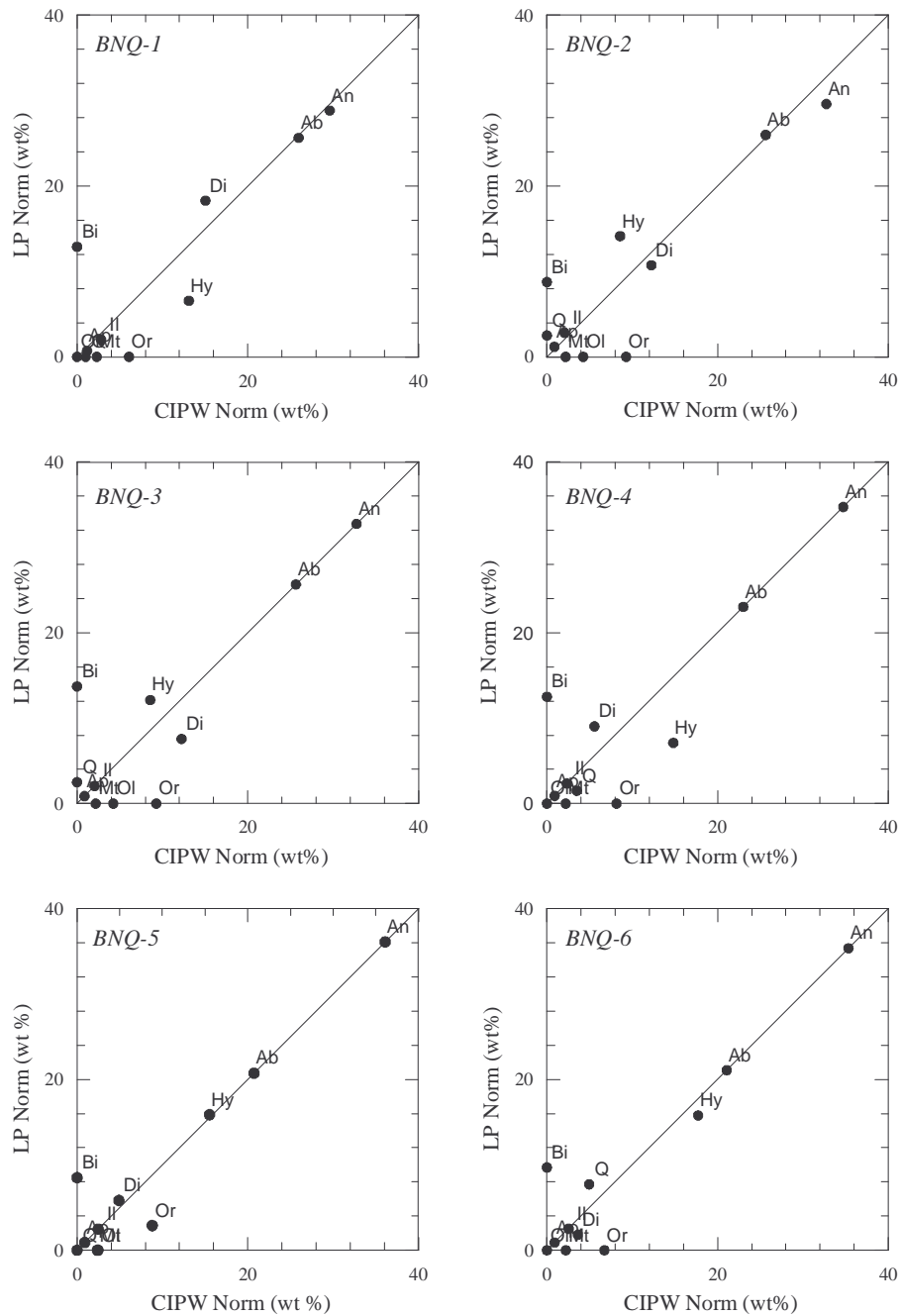
perubahan komposisi mineral pada prinsip perhitungan kedua metode tersebut (perbedaan hidrus/anhidrus).

Dari perbandingan kedua metode ini, dapat diketahui bahwa salah satu kelemahan metode CIPW adalah perhitungannya memakai asumsi/anggapan bahwa batuan dalam kondisi anhidrus, sedangkan pada perhitungan dengan metode LPNORM, kondisi hidrus/anhidrus tidak dipertimbangkan. Kelemahan metode LPNORM adalah perhitungan mineral tidak mempertimbangkan sekuen kristalisasi dan termodinamika mineral, sehingga pemilihan mineral-mineral yang akan dimasukkan ke dalam tabel mineral pada perhitungan LPNORM harus mempertimbangkan hal tersebut. Kedua metode ini tidak dapat menghitung persentase gelas vulkanik pada batuan, yang hanya dapat dihitung dengan menggunakan mikroskop polarisasi.

Dengan demikian, kombinasi perhitungan CIPW, pengamatan secara petrografi dan perhitungan LPNORM akan memberikan hasil perhitungan komposisi mineral pada batuan yang lebih representatif.



**GAMBAR 1:** LP Norm vs. CIPW Norm untuk contoh lava Grenjeng, Sambi, Boyolali.



GAMBAR 2: LP Norm vs. CIPW Norm untuk contoh Lava Grenjeng, Sambu, Boyolali (lanjutan).

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tersebut disimpulkan sebagai berikut :

1. Perhitungan normatif dengan menggunakan metode Linear Programming cukup akurat digunakan untuk batuan beku.
2. Dari hasil pengeplotan pada diagram CIPW norm dengan LPNORM diperoleh sedikit

penyimpangan yang disebabkan oleh perbedaan pendekatan pada kedua analisis tersebut (anhidrus pada CIPW dan hidrus/anhidrus pada LPNORM).

3. Kedua analisis ini dapat digunakan sebagai alat bantu pelengkap untuk analisis petrografi.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Patrice de Caritat (Geological Survey of Norway) yang telah memberikan salinan perangkat lunak LPNORM, sehingga dapat digunakan sebagai alat bantu dalam analisis normatif. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada *reviewer* (mitra bestari) yang telah mengoreksi kesalahan-kesalahan pada naskah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Caritat, P. de, Bloch, J. & Hutcheon, I., 1994. LPNORM: A linear programming normative analysis code. *Computers & Geosciences* 20: 313-347.
- Carmichael, I.S.E., Turner, F.J., & Verhoogen, J., 1974. *Igneous Petrology*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Clarke, D., 1994. *NewPet for DOS*. Centre for Earth Resources Research, Memorial University of Newfoundland.
- Cohen, D. & Ward, C.R., 1991. SEDNORM – A program to calculate a normative mineralogy for sedimentary rocks based on chemical analysis. *Computer & Geosciences* 17: 1235-1253.
- Cross, W., Iddings, J.P., Pirsson, L.V. & Washington, H.S., 1902. A quantitative chemico-mineralogical classification and nomenclature of igneous rocks. *Journal Geology* 10: 555-690.
- Hall, A., 1987. *Igneous Petrology*, Longman Scientific & Technical, England.
- Hutchison, C.S., 1974. *Laboratory Handbook of Petrographic Techniques*. John Wiley & Sons. New York, 527 h.
- Kelsey, C.H., 1965. Calculation of the CIPW norm. *Mineralogical Magazine* 34: 276-282.
- Laube, N., Hergarten, S. & Neugebauer, 1996. MODUSCALC – A computer program to calculate a mode from a geochemical rock analysis. *Computers & Geosciences* 22: 631-637.
- Le Maitre, R.W., 1982. *Numerical Petrology: Statistical Interpretation of Geochemical Data*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Merodio, J.C., Spalletti, L.A., & Bertone, L.M., 1992. A FORTRAN program for the calculation of normative composition of clay minerals and pelitic rocks. *Computers & Geosciences* 18: 47-61.
- Warmada, IW., 1996. *Petrogenesis lava andesit daerah Grenjeng, Kecamatan Sambu, Kabupaten Boyolali, Propinsi Jawa Tengah*. Laporan Penelitian DPP/SPP UGM 1996, 82 hal (tidak dipublikasikan).
- Williams, H., Turner, F.J., & Gilbert, G.M., 1982. *Petrography: An Introduction to the Study of Rocks in Thin Sections*, 2<sup>nd</sup> edition, W.H. Freeman and Company, New York.
- Wright, T.L. & Doherty, P.C., 1970. A linear programming and least squares computer method for solving petrological mixing problems. *Geological Society of America Bulletin* 81: 1995-2008.