



---

## Pemadatan Tanah Dengan Intelligent Compactor Pada Pembangunan Jalan Toll Ikn Segmen Sp. Tempadung–Jembatan P. Balang

*Soil Compaction With Intelligent Compactor In The Construction Of The Ikn Toll Road Segment Sp.  
Tempadung–P. Balang Bridge*

**Iwan Ari Setiawan**

Universitas Diponegoro, Indonesia

\*Email: [Iwan\\_arie\\_s27@yahoo.com](mailto:Iwan_arie_s27@yahoo.com)

\*Correspondence: *Iwan Ari Setiawan*

---

DOI:

10.59141/comserva.v3i06.1006

### **ABSTRAK**

Akhir-akhir ini banyak pekerjaan pemadatan tanah dilakukan secara marginal sekedar memenuhi persyaratan untuk dapat dibayar, dikarenakan adanya percepatan pelaksanaan konstruksi yang sering terjadi pada pembangunan jalan toll. Kondisi ini mengakibatkan hasil pemadatan tidak merata bahkan tidak dapat mencapai kepadatan yang diinginkan secara merata. Hal tersebut menjadi salah satu penyebab kerusakan jalan yang diakibatkan oleh konsep perkerasan yang kurang tepat, bisa disebabkan oleh perubahan kadar air optimum dalam subgrade, tanah expansive dan atau pemadatan tanah yang tidak memenuhi kaidah teknis. Tujuan dari penelitian ini antara lain untuk mengetahui tingkat kepadatan tanah timbunan secara merata dalam skala pekerjaan dengan volume besar; juga dapat mempersingkat waktu pengujian kepadatan lapangan dengan metode dan menggunakan alat bantu IC; serta dapat meningkatkan ketebalan pemadatan; selain itu dapat meningkatkan kepadatan material perkerasan Jalan dan untuk mengurangi bea perbaikan jalan. Metode penelitian ini menggunakan Deskriptif Kualitatif. Data primer yang diambil hasil pengujian kepadatan laboratorium baik uji proctor standart maupun uji proctor modified terhadap tanah existing dan untuk data sekunder ini didapat dari instansi swasta, instansi pemerintah antara lain dapat berupa laporan penelitian, laporan sensus, peta dan foto. Belajar dari negara negara maju seperti Amerika, China, Singapura, Jepang dan banyak negara lainnya pada dasarnya semua sama dimana para Engineer diminta untuk segera menyelesaikan pekerjaannya dengan mutu yang baik. Salah satunya adalah metode kerja yang mengkombinasikan peralatan peralatan non disturb atau semi otomatis yang dapat mengontrol kualitas sedini mungkin. Yaitu salah satunya dalam hal pekerjaan pemadatan dengan menggunakan Intelligent Compaction (IC).

**Kata kunci:** Pemadatan; Kadar Air Optimum; Tanah Expansive; Metode Kerja; Pematid Pintar.

### **ABSTRACT**

*Recently, many soil compaction works have been carried out marginally just to meet the requirements to be paid, due to the acceleration of construction that often occurs in toll road construction. This condition results in uneven compaction results and cannot even achieve the desired density evenly. This is one of the causes of road damage caused by improper pavement concepts, can be caused by changes in optimum moisture content in subgrade, expansive soil and / or soil compaction that does not meet technical rules. The objectives of this study include determining the level of density of landfill evenly on a large volume of work scale;*

---

*can also shorten the time of field density testing by methods and using IC aids; and can increase compaction thickness; in addition, it can increase the density of road pavement materials and to reduce road repair duties. This research method uses Descriptive Qualitative. Primary data taken from laboratory density testing both standard proctor tests and modified proctor tests on existing land and for secondary data this is obtained from private agencies, government agencies, among others, in the form of research reports, census reports, maps and photos. Learning from developed countries such as America, China, Singapore, Japan and many other countries is basically all the same where engineers are asked to immediately complete their work with good quality. One of them is a working method that combines non-disturb or semi-automatic equipment that can control quality as early as possible. That is one of them in terms of compaction work using Intelligence Compaction (IC).*

**Keywords:** *Compaction; Optimum Water Content ; Expansive Soil; Metode Off Work; Intelligent Compactor*

---

## **PENDAHULUAN**

Terjadinya cacat konstruksi pada pembangunan jalan yang diakibatkan adanya penurunan tanah sering terjadi akhir-akhir ini terutama pada Proyek-proyek Strategis Nasional yang kadangkala untuk kepentingan politik dilakukan percepatan pembangunan. Padahal ada kaidah-kaidah teknis yang harus dilalui secara ideal dalam proses pembangunan konstruksi tersebut yang salah satunya adalah Pemadatan Tanah (Asi, 2017).

Jadi pemadatan adalah penerapan “energi mekanis” terhadap tanah sehingga dapat memperbaiki susunan partikelnya, dan mengurangi angka pori tanah (Dianita & Wulandari, 2023). Melalui pemadatan, tanah dasar akan menjadi stabil sehingga lebih tahan terhadap perubahan bentuk, baik akibat beban kendaraan maupun faktor lingkungan air.

Tujuan pemadatan adalah untuk mendapatkan tanah dasar yang memenuhi persyaratan yang disebutkan spesifikasi, dimana bila dikaitkan dengan komponen perubahan bentuk, tujuan pemadatan adalah: mengurangi densifikasi akibat beban kendaraan ; Mengurangi pengembangan/penyusutan yaitu sebagai akibat pengurangan air yang meresap ke dalam tanah.; Mengurangi deformasi plastis, yaitu sebagai akibat pengurangan akumulasi regangan permanen pada tanah dasar dan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya longsor (bila tanah dasar merupakan bagian dari timbunan) yaitu sebagai akibat peningkatan kuat geser tanah (Nurmaidah & Suranto, 2022). Akan tetapi seringkali pengujian kepadatan di lapangan dengan metode Sand Cone test, CBR test, DCP test, LWD ataupun Proof rolling memerlukan waktu lebih lama dan jumlah personil pengendali mutu yang lebih banyak apabila volume pekerjaan timbunannya sangat besar.

Pengendalian mutu terhadap pemadatan tanah tetap harus dilakukan melalui pengujian kepadatannya yang dilakukan baik di Laboratorium maupun di lapangan. Berikut adalah metode pengujian kepadatan yang dilakukan di laboratorium (Uji Proctor) yaitu pengujian yang dilakukan terhadap sample tanah existing yang dilakukan di Laboratorium dengan tujuan untuk menentukan jumlah kadar air yg digunakan dalam pemadatan lapangan untuk menghasilkan tingkat kepadatan tertentu. Uji kepadatan laboratorium atau Uji Proctor dibagi menjadi 2 metode yaitu : Uji Proctor Standart dan Uji Proctor Modifikasi. Uji Kepadatan Lapangan adalah uji kendali mutu lapangan untuk

mengukur berat jenis dan kadar air sebagai parameter utama pemadatan di lapangan. Ada 2 metode uji kepadatan lapangan yaitu : Metode Destruktif (Sand Cone test, CBR test, DCP test) dan metode Non Destruktif dengan menggunakan LWD, Proof Rolling.

Hal inilah yang menjadi dasar penulis menulis artikel terkait masalah ini dengan mencari metode dan pengawasan pemadatan timbunan tanah secara baik salah satunya dengan menggunakan IT Compaction (Mulyono et al., 2020).

Tujuan dari penelitian ini antara lain untuk mengetahui tingkat kepadatan tanah timbunan secara merata dalam skala pekerjaan dengan volume besar; juga dapat mempersingkat waktu pengujian kepadatan lapangan dengan metode dan menggunakan alat bantu IC; serta dapat meningkatkan ketebalan pemadatan; selain itu dapat meningkatkan kepadatan material perkerasan Jalan dan untuk mengurangi bea perbaikan jalan.

## **METODE**

Metode penelitian ini menggunakan Deskriptif Kualitatif yaitu metode penelitian dengan memanfaatkan data Kualitatif yang akan dinarasikan secara deskriptif. Dalam melaksanakan studi ini ada beberapa langkah yang digunakan untuk mempresentasikan keadaan nyata di lapangan. yaitu penetapan lokasi penelitian.,Kemudian pengumpulan data hasil pengujian laboratorium (uji proctor) terhadap existing tanah yang ada, pengumpulan data terkait volume timbunan tanah yang akan dilakukan pengujian kepadatan lapangan. Serta penerapan jumlah alat berat yang akan digunakan untuk pemadatan tanah timbunan. Sehingga data yang dikumpulkan dapat dianalisis untuk mendapatkan hasil yang diharapkan. Data primer yang diambil adalah hasil pengujian kepadatan laboratorium baik uji proctor standart maupun uji proctor modified terhadap tanah existing. Data sekunder data yang diperoleh atau dikumpulkan peneliti dari berbagai sumber yang telah ada (peneliti sebagai tangan kedua) sumber ini didapat dari instansi swasta, instansi pemerintah antara lain dapat berupa laporan penelitian, laporan sensus, peta dan foto. Data stratifikasi tanah existing (Gambar 2) bisa didapatkan dari badan Metereologi dan Geofisika terkait typology tanah dan karakteristiknya pada lokasi pekerjaan pembangunan Jalan Toll IKN segmen 5A.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam prakteknya timbunan yang dilakukan dalam jumlah besar misalnya dalam 1 hari harus dikerjakan 50.000 M<sup>3</sup>, bila dihampar setebal 20 cm maka terdapat luas yang harus 250.000 M<sup>2</sup> dan harus ditest kepadatan sejumlah = 1.250 titik. Dengan kapasitas uji sand cone setiap group rata rata 20 titik perhari, dan untuk menyelesaikan 1.250 titik maka diperlukan group test = 63 group. (Purnomo, 2020).Kondisi ini tentunya sangat berat karena jumlah konsultan untuk mengawasi test tersebut sangat kurang. (Gambar 5 Proses pelaksanaan timbunan), ditampilkan dibawah yang dapat digaris bawahi, betapa sulitnya melaksanakan timbunan dalam jumlah yang besar dengan spesifikasi test dengan sand cone. (Gambar 6 Proses Sand Cone test)



**Gambar 1 Proses Pelaksanaan Timbunan**



**Gambar 2 Proses Sand Cone Test**

PT. GLOBAL PROSES ENERGI		PT. GLOBAL PROSES ENERGI	
KONTRAKTOR		KONTRAKTOR	
KONTRAKTOR		KONTRAKTOR	
<p>1. No. Plot + Conting + galian sebelum</p> <p>2. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>3. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>4. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>5. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>6. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>7. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>8. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>9. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>10. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>11. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>12. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>13. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>14. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>15. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>16. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>17. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>18. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>19. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>20. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>21. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>22. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>23. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>24. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>25. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>26. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>27. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>28. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>29. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>30. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>31. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>32. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>33. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>34. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>35. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>36. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>37. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>38. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>39. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>40. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>41. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>42. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>43. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>44. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>45. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>46. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>47. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>48. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>49. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>50. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>51. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>52. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>53. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>54. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>55. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>56. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>57. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>58. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>59. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>60. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>61. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>62. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>63. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>64. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>65. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>66. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>67. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>68. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>69. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>70. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>71. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>72. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>73. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>74. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>75. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>76. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>77. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>78. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>79. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>80. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>81. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>82. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>83. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>84. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>85. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>86. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>87. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>88. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>89. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>90. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>91. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>92. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>93. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>94. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>95. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>96. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>97. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>98. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>99. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>100. No. Plot + Conting + galian setelah</p>		<p>1. No. Plot + Conting + galian sebelum</p> <p>2. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>3. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>4. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>5. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>6. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>7. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>8. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>9. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>10. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>11. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>12. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>13. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>14. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>15. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>16. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>17. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>18. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>19. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>20. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>21. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>22. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>23. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>24. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>25. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>26. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>27. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>28. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>29. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>30. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>31. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>32. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>33. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>34. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>35. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>36. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>37. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>38. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>39. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>40. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>41. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>42. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>43. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>44. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>45. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>46. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>47. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>48. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>49. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>50. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>51. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>52. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>53. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>54. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>55. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>56. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>57. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>58. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>59. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>60. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>61. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>62. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>63. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>64. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>65. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>66. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>67. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>68. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>69. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>70. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>71. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>72. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>73. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>74. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>75. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>76. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>77. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>78. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>79. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>80. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>81. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>82. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>83. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>84. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>85. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>86. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>87. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>88. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>89. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>90. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>91. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>92. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>93. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>94. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>95. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>96. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>97. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>98. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>99. No. Plot + Conting + galian setelah</p> <p>100. No. Plot + Conting + galian setelah</p>	

**Gambar 3 Contoh Bukti Hasil Sand Cone**

Test kepadatan dengan sand cone merupakan kepadatan relative yang didefinisikan sebagai rasio kepadatan kering in-situ dari tanah timbunan dengan kepadatan kering maksimum tanah timbunan yang ditentukan dalam laboratorium, test (ASTM D698-12 dan ASTM D1557-12 memberikan standar untuk tes Standard Proctor dan tes Modified Proctor, masing-masing) (Pradiptiya et al., 2023) (Shafira, 2019) (Suciutami, 2021). Peningkatan pengukuran kerapatan kering diasumsikan mewakili peningkatan kekakuan dan sifat kekuatan struktural timbunan dan biasanya diukur melalui teknik pengujian titik berupa sand cone atau pengukuran kerapatan dengan nuklir yang mewakili luas 200 m2 (Wei et al., 2023) (Li et al., 2023). Dalam prosedur jaminan kualitas/kontrol kualitas (QA/QC) sebagaimana yang

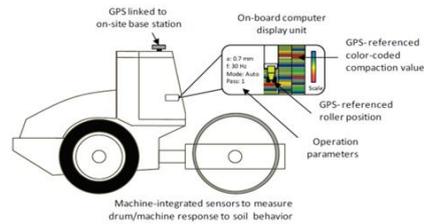
ditentukan dalam spesifikasi untuk pemadatan jika setelah dipadatkan memenuhi syarat lapis berikutnya dilanjutkan, namun jika kepadatan relative yang telah ditentukan tidak terpenuhi timbunan dipadatkan kembali, dan uji petik dilakukan kembali sampai persyaratan pemadatan relatif telah dipenuhi. Dalam kondisi menimbun dengan jumlah yang besar kondisi ini sulit dilakukan apalagi kerja malam dan sebagainya. Dari hasil uji terlihat semua memenuhi syarat hal ini juga terjadi karena operator sand cone mengetahui titik mana yang kelihatan padat dan titik mana yang kelihatan kurang padat, maka dipilihlah tidak yang padat.

Meskipun umumnya test kepadatan dinilai efektif (dalam skala kecil) metode pemadatan timbunan QA/QC tradisional ini memiliki tiga keterbatasan utama:

- a. Metode ini didasarkan pada ukuran kepadatan kering, yang secara kasar berkorelasi dengan kekakuan, dan tidak secara eksplisit mengukur ukuran kekakuan yang dapat digunakan untuk analisis rekayasa perhitungan tebal perkerasan secara mekanistik sebagaimana yang digunakan dalam MDP 2017.
- b. Merupakan metode sampling dalam satu luasan, biasanya mencakup kurang dari 1% dari seluruh luasan pekerjaan timbunan tanah; dan
- c. Merupakan metode sampling, yang tidak dapat memberikan umpan balik secara real-time dan terus-menerus selama proses pemadatan (Yao & Song, 2023). Ketiga keterbatasan ini telah memberikan dorongan untuk pengembangan prosedur IC untuk lebih maju dalam mengontrol pemadatan, di mana sifat material secara mekanis dapat dikuantifikasi dan dipantau secara spasial, temporal dan terus menerus. Pada awalnya penggunaan IC khususnya mengacu pada kemampuan alat pemadat untuk secara otomatis dapat menyesuaikan dengan operasi alat pemadat (yaitu frekuensi getaran dan amplitudo getaran) selama operasi

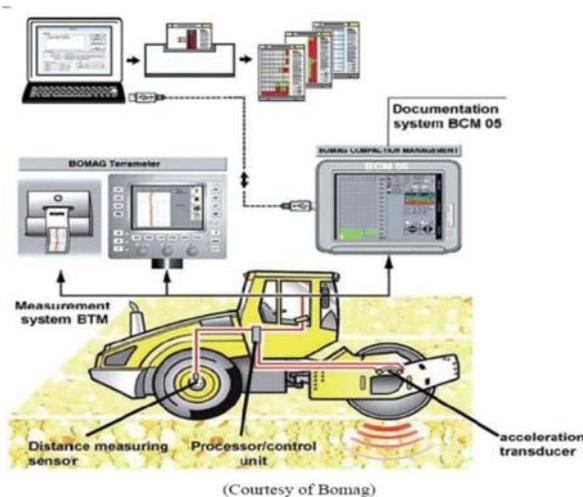
Intelligent compaction (IC) termasuk continuous compaction control (CCC), dimana prosedur QA/QC dapat dilakukan secara real time saat tanah sedang dipadatkan. Dengan menggunakan hasil pemadatan IC, sifat kekakuan tanah dapat dipantau secara real-time, pada saat tanah sedang dipadatkan, dan memberikan cakupan uji 100% dari luas pekerjaan tanah (Yao & Song, 2023).

Penggunaan IC tidak hanya memberikan rasio manfaat biaya yang lebih baik dibandingkan dengan prosedur sand cone, tetapi juga dapat memberikan sifat kekakuan tanah, yang dapat digunakan untuk membantu memprediksi respons mekanis struktur perkerasan yang didukung oleh tanah yang dipadatkan (Expansive soil, 2022, p. 5). Mengingat derajat kepadatan adalah kepadatan kering lapangan dibagi dengan kepadatan kering Optimum laboratorium, maka tata cara perhitungan derajat kepadatan tetap menggunakan cara cara konvensional namun untuk dapat terjaminnya keseragaman kepadatan di negara negara maju dibantu dengan menggunakan Roller-Integrated Continuous Compaction Control (CCC) and intelligent compaction (IC). Sehingga IC digunakan sebagai Quality Assurance (QA) dan dibayar tersendiri dalam Divisi I. Walaupun terjadi kenaikan biaya akibat adanya mata pembayaran IC dalam divisi tersendiri, namun biaya pemadatan akan turun dan disamping itu kerusakan perkerasan akibat adanya kekurangan pemadatan dapat dihindari.

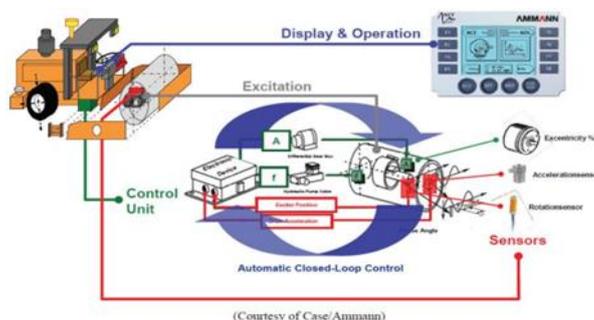


**Gambar 4 Sistem Pemantauan Pemadatan Intelligent Compaction Measurement Value (ICMV) (Zhang W, 2021)**

Intelligent Compaction (IC) Pengembangan dan evaluasi teknologi Roller-Integrated Continuous Compaction Control (CCC) dimulai lebih dari empat dekade yang lalu di Eropa untuk digunakan dalam pemadatan tanah berbutir dengan alat pemadat bergetar (Zhang et al., 2021) (Sivagnanasuntharam et al., 2023). Konsep terus diperluas untuk berbagai bahan dan peralatan yang berbeda serta tanah dan aspal yang berbeda (Hu et al., 2017). Untuk yang menggunakan alat pemadat bergetar, CCC menggunakan pengukuran dan analisis keluaran dari akselerometer yang dipasang di drum roller yang dapat memberikan catatan kualitas pemadatan yang dihubungkan dengan alat monitoring yang bisa dibaca dengan suatu system yang terdokumentasi sebagaimana yang digambarkan berikut:



**Gambar 5 Bomag Vario Control System**



**Gambar 6 Amman Auto-Feedback Control (AFC) system**

Ketika system pengukuran menyediakan control umpan balik secara otomatis/Automatic Feedback Control (AFC) untuk mengukur amplitudo dan atau frekuensi dari getaran alat pemadat pada tanah yang dipadatkan ,maka alat ini disebut Intelligent Compaction (IC). Pengukuran hasil kepadatan dihitung dari akselerometer dengan dua pendekatan yang berbeda;

- a. Menghitung rasio harmonisa frekuensi yang dipilih untuk interval waktu yang ditetapkan, atau
- b. Menghitung kekakuan atau modulus elastisitas tanah/material berdasarkan model interaksi tanah dengan roda pemadat dengan beberapa asumsi.

Pengukuran getaran yang berbasis akselerometer adalah pengukuran terhadap hambatan getaran mesin /roda penggerak alat pemadat dengan getaran atau non getaran pada tanah/ agregat/ campuran aspal panas. Terlepas dari teknologinya, premis ICMV adalah nilai-nilai pengukuran terkait dengan pengukuran pemadatan tradisional dan akan berguna sebagai bagian dari quality Control dan Quality Assurance yang efektif untuk pekerjaan pemadatan tanah atau operasi pemadatan material perkerasan. Konsep ICMV pertama kali diteliti oleh Dr. Heinz Thurner dari Bina Marganya Swedish pada tahun 1974 dengan menghubungkan harmonik roda pemadat dengan sifat pemadatan tanah/agregat/HMA. Uji coba lapangan dilakukan oleh Dr. Thurner dengan menggunakan alat vibrator smooth drum yang dilengkapi dengan akselerometer untuk pemadatan tanah. Hasil dari uji coba lapangan tersebut memberikan bukti bahwa rasio amplitudo percepatan harmonik pertama dan amplitudo akselerasi frekuensi dasar roda penggetar merupakan indikator kekakuan / modulus tanah.

Pada tahun 1975,Dr. Thurner bermitra dengan Åke Sandström dan mendirikan Geodynamik untuk melanjutkan penelitian dan pengembangan ICMV. Pada tahun 1976, Compactometer TM Compaction Meter Value (CMV) dikembangkan oleh Geodynamik bekerja sama dengan Dynapac Research Departemen. Pada tahun 1980, lima artikel teknis disajikan tentang pengukuran CMV , teknologi dan aplikasinya (Thurner 1980, Thurner dan Sandström 1980, Forssblad 1980, Hansbo dan Pramborg 1980, dan Machet 1980) pada Konferensi Internasional Pertama tentang Pemadatan diadakan di Paris. Pada tahun 1983, Geodynamik memperkenalkan Nilai Osilometer (OMV) untuk roller osilasi (gerakanya seperti ngulek sambal) yaitu nilai tak berdimensi diperoleh dari amplitudo percepatan horizontal drum. HAMM AG mengadopsi teknologi pengukuran OMV (Thurner dan Sandström 2000) untuk digunakan pada alat pemadat dengan roda halus osilasi mereka, tetapi hampir tidak ada informasi yang dipublikasikan di literatur Inggris tentang hubungan OMV dengan sifat tanah. Pada awal 1980-an, BOMAG mengembangkan sistem Terrameter® yang mengukur nilai Omega (BTM 1983). Nilai Omega memberikan ukuran energi pemadatan yang ditransmisikan ke tanah menggunakan data akselerometer. Hoover (1985) menerbitkan laporan 72 penelitian dari studi lapangan mengevaluasi nilai Omega pada tiga jenis tanah granular yang berbeda dan menunjukkan hasil yang menggembirakan. Kemudian pada tahun 2000, BOMAG menggantikan nilai Omega dengan memperkenalkan Modulus Getaran (EVIB), penilaian menggunakan data percepatan untuk menentukan perpindahan gaya /getaran pada roda pemadat dan model dynamic roller -soil model (Kröber et al. 2001).

Pada tahun 2003, proyek kolaborasi penelitian antara Departemen Transportasi Iowa, Federal Highway Administration (FHWA), dan Caterpillar dimulai untuk mengevaluasi Alat Berat Caterpillar Sistem Drive Power (MDP) untuk digunakan pemadatan tanah granular dan kohesif. Sistem MDP didasarkan pada prinsip ketahanan gelinding karena tenggelamnya drum, dan pendekatan bekerjanya alat pada mode getaran dan statis. Sistem pengukuran telah diteliti dalam uji coba lapangan sejak itu 2003 (Tehrani dan Meehan 2009, White et al.2004, 2005, White dan Thompson 2008, Thompson dan

**Iwan Ari Setiawan**

*Soil Compaction With Intelligent Compactor In The Construction Of The Ikn Toll Road Segment Sp. Tempadung–P. Balang Bridge*

White 2008) dan di Minnesota tahun 2009 menggunakan IC pada pemadatan pekerjaan tanah skala penuh (White et al. 2009).

Tahun 2009 Dynapac, MOBA, Trimble, dan Caterpillar menggunakan teknologi pengukuran CMV sebagai bagian dari sistem ICMV mereka dengan menghubungkan data CMV dengan pengukuran GPS untuk tampilan real-time on-board. Tahun 2009, Bomag, Ammann, dan Dynapac menawarkan sistem Auto Feedback Control (AFC) / IC, dimana getarannya amplitudo, dan / atau frekuensi secara otomatis akan disesuaikan dengan lompatan roda sampai ambang batas yang telah ditetapkan tercapai. Beberapa keunggulan potensial dikutip dari literatur (misalnya, Adam dan Kopf 2004) pemadatan yang menggunakan AFC akan lebih cepat (yaitu, lintasan yang lebih sedikit) dan keseragaman kepadatan tanah yang lebih baik . Tahun 2010,IC digunakan diseluruh Amerika, Eropa dan Sebagian Asia untuk pekerjaan tanah, agregat, dan Campuran Aspal Panas.



**Gambar 7 Vibro Roller Drum Tunggal yang dilengkapi dengan EVIB terintegrasi dengan sistem pengukuran pada tampilan on-board dengan perangkat lunak BCM05®. 73**



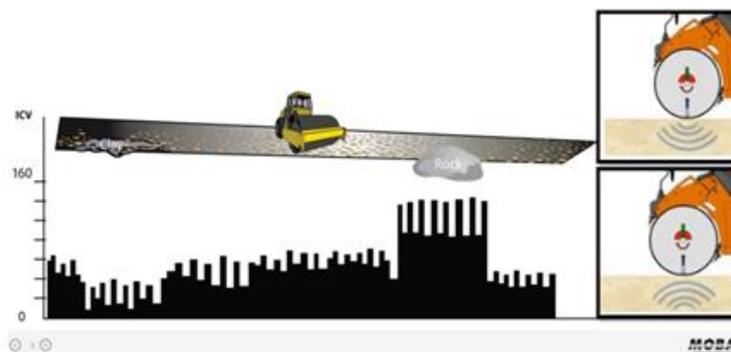
**Gambar 8 Vibro Roller Amman (padfoot dan smooth drum) yang dilengkapi system pengukuran ks terintegrasi dengan system pengukuran pada tampilan on Board dengan perangkat lunak BCM-05 dari merk Ammann dan tampilan perangkat lunak ACE-Plus® dari merk CATERPILAR**



**Gambar 9 Vibro Roller (padfoot and smooth drum) yang terintegrasi dengan system pengukuran CCV pada layer display dengan software Aithon-MT®**



**Gambar 10 Tampilan display MOBA with roller-integrated ICV measurement system**



**Gambar 11 Pengertian Parameter ICV MOBA**

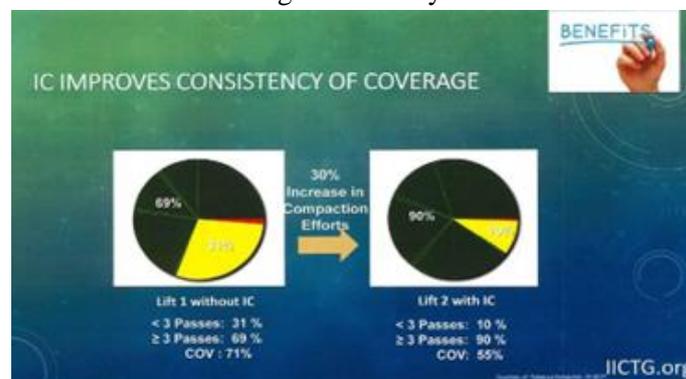
Berikut kami sampaikan keuntungan dari metode pemadatan menggunakan IC , yaitu sbb :

- a. Kepadatan lebih meningkat.

Teknologi IC dapat secara significant mengurangi variabilitas kerapatan tanah/agregat sehingga kepadatan setempat yang kurang padat sebagai factor utama kerusakan dini dapat diidentifikasi pada waktu proses pemadatan, dan dapat segera diperbaiki, maka peningkatan kepadatan sub grade dan bahan perkerasan ini memiliki manfaat yg jelas yaitu dapat memiliki potensi untuk meningkatkan kepadatan material perkerasan jalan.

b. Meningkatkan produktifitas.

Jika kepadatan optimal diperoleh dengan proses yang cepat dan dengan jumlah lintasan yg minimum maka proses pemadatan menjadi efisien. Mengoptimalkan produktifitas biasanya dilakukan dg meningkatkan jumlah lintasan. Karena system IC dirancang untuk beroperasi pada upaya pemadatan yg optimal ,pemadatan akan lebih efisien dg mengurangi jumlah lintasan (Supono, 2017). Hasilnya tingkat kepadatan yg setara atau lebih baik dalam waktu yg lebih singkat dan dengan alat pemadat yg tepat sehingga jumlah lintasan bisa berkurang dari biasanya.



**Gambar 12 Peningkatan produktivitas area.**

c. Pengurangan bea perbaikan Jalan.

Kepadatan material yg tidak memadai karena pemadatan yg buruk mengurangi masa pakai yg diharapkan dan akan meningkatkan biaya perbaikan. Dengan menggunakan IC, kontraktor dapat meminimalkan bea perbaikan, dengan metode pemadatan yg dioptimalkan untuk meningkatkan kinerja perkerasan. Secara khusus metode yang disempurnakan untuk mencapai kepadatan yg memadai secara seragam ini, bertujuan untuk mengurangi terjadinya kegagalan titik, dan meningkatkan efisiensi operasi pemadatan, sehingga menurunkan bea pemeliharaan dan bea perjalanan pengguna jalan.

d. Peningkatan ketebalan pemadatan.

Hasil MV roller telah terbukti dipengaruhi oleh tanah di bawahnya sedalam 1,0 – 1,2 m dalam kondisi yang homogen (Ranggan et al., 2017) (Purwati et al., 2019). Lapisan sedalam 1,20 meter ini terdiri dari beberapa lapisan material. Konstruksi perkerasan jalan melibatkan beberapa kombinasi lapisan subgrade, subbase, dan base , dimana masing masing lapisan biasanya setebal 15 – 30 cm. sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar (Setiayono, 2020). Oleh karena itu, MV roller merupakan nilai komposit tidak hanya dari mengukur lapisan bagian atas perkerasan tetapi juga mengukur modulus / kerapatan tanah dibawahnya sedalam 1,0 – 1,2 m. Teknik pengujian kepadatan selama ini, seperti pengukur kepatadan dengan sand cone , hanya mengukur kepadatan tanah dari dari bagian atas sedalam 20 – 30 cm. Roller MV biasanya digunakan sebagai korelasi dengan pengukuran uji titik seperti sand cone, dan perbedaan pengukuran dalam kedalaman akan menimbulkan masalah antara keduanya (Thompson dan White 2007). Sehingga semua negara bagian Amerika, IC digunakan sebagai QA/QC dalam pemadatan.

## **SIMPULAN**

Berdasarkan hasil survai dan analisa yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut : diperoleh data uji kepadatan Lapangan yang lebih akurat dan real Time; diperoleh data uji kepadatan lapangan dengan kualitas seragam; dapat meningkatkan produktivitas pekerjaan Timbunan tanah dikarenakan dapat dengan cepat diketahuinya hasil monitoring terhadap kepadatan tanah timbunan; .dapat menekan jumlah tenaga kerja di bidang Quality control karena tidak diperlukan uji kepadatan lapangan secara konvensional seperti sand Cone dsb.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Asi, P. K. (2017). *Evaluasi Pelaksanaan Proyek Pemeliharaan Berkala Jalan Batas Kalbar-Kudangan-Penopa*. Untag 1945 Surabaya.
- Dianita, D., & Wulandari, S. (2023). Pengaruh Stabilisasi Menggunakan Polypropylene Fiber Terhadap Tanah Lempung Ekspansif. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, 22(1), 61–71.
- Hu, W., Huang, B., Shu, X., & Woods, M. (2017). Utilising intelligent compaction meter values to evaluate construction quality of asphalt pavement layers. *Road Materials and Pavement Design*, 18(4), 980–991.
- Li, P., Sun, J., Ge, X., Zhang, M., & Wang, J. (2023). Parameters of dynamic compaction based on model test. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 168, 107853.
- Mulyono, T., Purnomo, A., & Anisah, A. (2020). Peningkatan Pengetahuan Siswa Smk Di Bekasi Untuk Pengetahuan Akan Pembuatan Beton Tembus Sebagai Upaya Mengatasi Degradasi Lingkungan Melalui Webinar. *Jurnal Ilmiah P2M STKIP Siliwangi*, 7(2), 192–200.
- Nurmaidah, N., & Suranto, S. (2022). Uji Pemadatan Standar Dan Uji Pemadatan Modified Terhadap Tanah Yang Dicampur Kapur. *Journal Of Civil Engineering Building And Transportation*, 6(1), 50–60.
- Pradiptiya, A., Agung, P. A. M., Mufti, M., & Djamal, A. (2023). Analisis Stabilisasi Tanah Lunak Mempawah, Kalimantan Barat dengan Sisa Hasil Pembakaran Power Plant Biomassa. *Seminar Nasional Inovasi Vokasi*, 2, 54–64.
- Purwati, W. N., Rokhman, R., & Pristianto, H. (2019). Pengaruh Kadar Semen Terhadap Stabilitas Tanah Lempung Ditinjau Dari Kuat Geser Tanah. *Jurnal Teknik Sipil: Rancang Bangun*, 5(1), 42–48.
- Ranggan, P. R., Masiku, H., Paembonan, M. L., Padang, I., & Upa, Y. (2017). Studi Peningkatan Daya Dukung Tanah Lempung dengan Menggunakan Semen. *Konferensi Nasional Teknik Sipil*, 11.
- Setiayono, H. (2020). *Perbandingan Antara Flexyble Pavement dan Rigid Pavement Pada Peningkatan Pelebaran Jalan (Studi Kasus Ruas Jalan Genengan-Lembeyan Kabupaten Magetan)*. Untag 1945 Surabaya.
- Shafira, R. (2019). *Tugas Akhir Analisis Parameter Konsolidasi Tanah Pada Perbaikan Tanah Lempung Menggunakan Metode Vacuum Consolidation*.
- Sivagnanasuntharam, S., Sountharajah, A., Ghorbani, J., Bodin, D., & Kodikara, J. (2023). A state-of-the-art review of compaction control test methods and intelligent compaction technology for asphalt pavements. *Road Materials and Pavement Design*, 24(1), 1–30.
- Suciutami, M. E. (2021). Arifin, dan Irsan, R.,(2022). Evaluasi Aspek Teknis Operasional Pengelolaan Persampahan di Daerah Kecamatan Putussibau Utara Kabupaten Kapuas Hulu. *Jurnal Ilmu*

**Iwan Ari Setiawan**

*Soil Compaction With Intelligent Compactor In The Construction Of The Ikn Toll Road Segment Sp. Tempadung–P. Balang Bridge*

---

*Lingkungan*, 20(3), 588–596.

Supono, J. (2017). Penerapan Metode Line Balancing Untuk Peningkatan Produktivitas Pada Jalur Lintasan CPLG Extension di PT. ABC. *Jurnal Teknik*, 4(1).

Wei, Y., Yang, Y., Wang, J., Liu, H., Li, J., & Jie, Y. (2023). Performance evaluation of high energy dynamic compaction on soil-rock mixture geomaterials based on field test. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e01734.

Yao, Y., & Song, E. (2023). Research on real-time quality evaluation method for intelligent compaction of soil-filling. *Transportation Geotechnics*, 39, 100943.

Zhang, W., Khan, A. R., Yoon, S., Lee, J., Zhang, R., & Zeng, K. (2021). Investigation of the correlations between the field pavement in-place density and the intelligent compaction measure value (ICMV) of asphalt layers. *Construction and Building Materials*, 292, 123439.



© 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).