

TINJAUAN KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON MUTU NORMAL DENGAN METODE PEMBACAAN DATA MESIN UNIVERSAL TESTING MACHINE (UTM) SISTEM DIGITAL DAN MANUAL

Puput Retno Utami, Abdul Rochman*, Aliem Sudjatmiko

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jalan A. Yani Tromol 1 Pabelan, Sukoharjo, Jawa Tengah

*Email: ar126@ums.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik beton yaitu kuat tekan dan modulus elastisitas pada beton normal dengan metode pembacaan data hasil pengujian UTM sistem digital dan manual. Perencanaan campuran beton berdasarkan American Concrete Institute (ACI) menggunakan bahan penyusun berupa agregat kasar, agregat halus, semen dan air dengan kuat tekan rencana 20 MPa, 22,5 MPa dan 25 MPa. Benda uji berupa silinder ukuran 150 mm x 300 mm. Sampel yang digunakan untuk pengujian ini yaitu 10 sampel untuk masing – masing mutu rencana. Hasil pengujian nilai kuat tekan beton dengan UTM digital dan UTM manual f'_{cr} 20 MPa sebesar 20,041 MPa dan 20,903 MPa, f'_{cr} 22,5 MPa sebesar 23,395 MPa dan 23,964 MPa, f'_{cr} 25 MPa sebesar 27,664 MPa dan 27,133 MPa. Secara umum hasil pengujian kuat tekan dengan UTM manual lebih tinggi dari hasil pengujian dengan UTM digital. Nilai modulus elastisitas beton dengan pembacaan grafik hasil pengujian UTM digital dan UTM manual f'_{cr} 20 MPa sebesar 16301,317 MPa dan 15801,541 MPa, f'_{cr} 22,5 MPa sebesar 22661,765 MPa dan 19906,802 MPa, f'_{cr} 25 MPa sebesar 23694,836 MPa dan 21623,260 MPa. Nilai modulus elastisitas dicari dengan rumus SNI 4700. $\sqrt{f'_{cr}}$ berdasarkan nilai kuat tekan hasil pengujian UTM digital dan UTM manual f'_{cr} 20 MPa sebesar 19251,605 MPa dan 21478,819 MPa, f'_{cr} 22,5 MPa sebesar 22713, 691 MPa dan 22946,670 MPa, f'_{cr} 25 MPa sebesar 24720,325 MPa dan 24207,102 MPa. Secara umum nilai modulus elastisitas beton hasil pembacaan grafik UTM digital lebih mendekati dengan nilai modulus elastisitas dari rumus SNI 4700. $\sqrt{f'_{cr}}$.

Kata kunci : kuat tekan, modulus elastisitas, UTM digital, UTM manual.

1. PENDAHULUAN

Industri konstruksi di Indonesia terus mengalami perkembangan pada berbagai sektor. Pertumbuhan industri konstruksi ini didukung adanya pembangunan Ibu Kota Negara (IKN), pembangunan infrastruktur pemerintah, dan setelah adanya pandemi. Bersumber pada Badan Pusat Statistik (BPS), pertumbuhan sektor konstruksi di Indonesia secara tahunan pada kuartal IV-2023 tumbuh 7,68%, dimana angka ini terhitung lebih tinggi daripada kuartal III-2023 sebesar 6,39% dan pada kuartal II-2023 sebesar 5,23%. Dalam industri konstruksi perkembangan teknologi beton sebagai bahan struktur terus dilakukan penelitian untuk mendapatkan kualitas yang lebih baik tanpa mengabaikan nilai ekonomis. Menurut SNI 2847:2019, beton merupakan campuran semen portland atau semen hidrolik lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambah yang membentuk massa padat. Beton dengan mutu yang baik perlu memperhatikan sifat dan karakteristik dari masing–masing penyusunnya.

Salah satu sifat penting yang harus dimiliki beton adalah kuat tekan atau kemampuan beton untuk menahan beban tekanan persatuan luas. Modulus elastisitas merupakan rasio tegangan

normal terhadap tegangan terkait pada tegangan tekan di bawah proporsionalitas material (Christianto dkk., 2023). Dalam penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan beton normal untuk menganalisis sifat mekanik dari beton tersebut dengan pembacaan data menggunakan Universal Testing Machine (UTM) dengan sistem digital dan manual untuk mengetahui modulus elastisitas beton.

Penelitian kali ini dimaksudkan untuk memperoleh hasil pengujian kuat tekan dan nilai modulus elastisitas dengan pembacaan data menggunakan mesin UTM sistem digital dan manual. Selanjutnya, akan dilakukan tinjauan mengenai tingkat ketelitian nilai modulus elastisitas yang didapatkan dari rumus pendekatan 4700 $\sqrt{f'_{cr}}$ terhadap hasil pengujian laboratorium kuat tekan sesuai mutu beton yang telah direncanakan yaitu f'_{cr} 20 MPa, f'_{cr} 22,5 MPa, dan f'_{cr} 25 MPa tanpa menggunakan bahan tambah (*admixture*).

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada pengujian ini yaitu metode eksperimental dengan mengembangkan penelitian yang pernah dilaksanakan sebelumnya. Penelitian ini

dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan mengembangkan gagasan mengenai penggunaan UTM digital untuk mencari nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan pembacaan grafik hubungan tegangan dan regangan.

2.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain, Semen jenis Portland Tipe 1 dengan merek dagang Semen Gresik. Agregat kasar dengan ukuran maksimum 40 mm yang berasal dari PT Pancardarma Beton Readymix. Agregat halus berasal dari penambangan pasir gunung merapi yang didapatkan di PT Pancardarma Beton Readymix. Air dari Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.

2.2. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain, Timbangan digital dengan ketelitian 5 gram dan 1 gram untuk menimbang material beton, concrete mixer untuk mencampur material menjadi beton segar, kerucut abram's digunakan pada pengujian slump test untuk mencari tingkat kekentalan beton segar, bekisting digunakan untuk mencetak sampel beton berbentuk silinder, Universal Testing Machine (UTM) sistem digital dan manual untuk pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas, oven digunakan untuk mengeringkan agregat sebelum maupun pada saat pengujian, dial untuk membaca penurunan akibat pembebanan, mesin los angeles untuk pengujian keausan agregat kasar, saringan digunakan untuk memastikan bahwa agregat yang digunakan memenuhi spesifikasi yang direncanakan.

2.3. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta. Tahapan penelitian ini dibagi menjadi 5 tahapan, yaitu :

Tahap 1 : melakukan persiapan alat, bahan dan material yang dibutuhkan dalam penelitian.

Tahap 2: merupakan tahap pengujian pendahuluan bahan – bahan untuk pembuatan benda uji agar mengetahui kualitas bahan yang digunakan sesuai Standar Nasional Indonesia. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian kadar lumpur, kandungan bahan organik, berat jenis dan penyerapan air, analisis ayakan dan keausan.

Tahap 3 : perencanaan mix design berdasarkan American Concrete Institute (ACI) untuk pembuatan benda uji berdasarkan mutu rencana yaitu 20 MPa, 22,5 MPa dan 25 MPa. Sebelum benda uji dicetak dilakukan slump test untuk mengetahui kualitas beton segar. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan dimensi 150 mm x 300 mm. Setelah benda uji mengeras dilakukan perawatan (*curing*) dengan merendam di bak selama 28 hari.

Perencanaan campuran dan jumlah benda uji yang dibutuhkan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1
Komposisi bahan campuran beton

Mutu (MPa)	Semen	Kerikil	Pasir	Air
25	21.67	58.77	37.55	10.19
22,5	21.22	58.77	37.95	10.19
20	20.57	58.77	38.52	10.19
Total	63.46	176.31	114.02	30.56

Tabel 2
Rincian jumlah benda uji

Mutu Beton	Uji UTM Manual	Uji UTM Computerized	Jumlah
<i>f_c</i> 20 MPa	5 Sampel	5 Sampel	10 Sampel
<i>f_c</i> 22,5 Mpa	5 Sampel	5 Sampel	10 Sampel
<i>f_c</i> 25 MPa	5 Sampel	5 Sampel	10 Sampel
Total benda uji			30 Sampel

Tahap 4 : melakukan pengujian terhadap benda uji yaitu pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton menggunakan UTM sistem manual dan digital.



(a) UTM digital



(b) UTM manual

Gambar 1. Pengujian kuat-tekan benda uji silinder

Tahap 5 : analisis data berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dan menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis data.

3. **HASIL DAN PEMBAHASAN**

3.1. **Pengujian agregat**

Hasil pengujian agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3, sedang hasil pengujian agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3
Hasil pengujian agregat halus

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar SNI	Keterangan
Kadar Lumpur	3,41 %	< 5%	Memenuhi
Kandungan Bahan Organik	Nomor 1	No. 1 – 2	Memenuhi
Berat Jenis Bulk	2,68	-	Tidak ada ketentuan dalam standar SNI
Berat Jenis SSD	2,75	-	Tidak ada ketentuan dalam standar SNI
Berat Jenis Semu	2,88	-	Tidak ada ketentuan dalam standar SNI
Penyerapan Air	2,67 %	< 3%	Tidak Memenuhi
Modulus Halus Butir	2,9	1,5 – 3,8	Memenuhi

Tabel 4
Hasil pengujian agregat kasar

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar SNI	Keterangan
Berat Jenis SSD	2,41	-	Tidak ada ketentuan dalam SNI
Berat Jenis Semu	2,58	-	Tidak ada ketentuan dalam SNI
Berat Jenis Bulk	2,30	-	Tidak ada ketentuan dalam SNI
Penyerapan Air	4,60%	< 5%	Memenuhi
Keausan	35,7%	< 40%	Memenuhi
Modulus Halus Butir	6,8	5 – 8	Memenuhi

Dari Tabel 3 dan Tabel 4, terlihat bahwa secara umum agregat yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi syarat.

3.2. **Pemeriksaan *workability***

Pemeriksaan *workability* adukan beton dilakukan dengan cara pengujian nilai *slump*. Dalam *mix design*, campuran beton direncanakan memiliki nilai *slump* antara 75 mm – 150 mm. Hasil pemeriksaan nilai *slump* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5.
Hasil pengujian *slump*

Mutu Rencana (MPa)	Ukuran Maksimum Agregat	Nilai <i>Slump</i> Rencana (mm)	<i>Slump</i> (mm)	Keterangan
20	40 mm	100	75 - 150	Memenuhi
22,5	40 mm	110	75 - 150	Memenuhi
25	40 mm	85	75 - 150	Memenuhi

Dari Tabel 5, terlihat bahwa nilai *slump* adukan beton sesuai dengan rencana dan memenuhi persyaratan.

3.3. **Pengujian kuat-tekan beton**

Pengujian kuat tekan beton dilakukan terhadap benda uji silinder dengan ukuran 150 mm x 300 mm pada umur 28 hari. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan menggunakan alat uji Universal Testing Machine (UTM) sistem digital dan manual. Hasil pengujian kuat tekan beton disajikan pada Tabel 6 sampai Tabel 11.

Tabel 6.
Hasil pengujian kuat tekan beton f'cr 20 MPa dengan UTM digital

Sampel	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)	f'c Rata - rata (MPa)	f'c Rencana (MPa)	Selisih (%)
Sampel A	228416	12.925 *			
Sampel B	201524	11.404 *			
Sampel C	343876	19.459	20.041	20.000	0.203
Sampel D	236676	13.393 *			
Sampel E	364436	20.622			

* Data tidak digunakan dalam analisis

Tabel 7.
Hasil pengujian kuat tekan beton f'cr 22,5 MPa dengan UTM digital

Sampel	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)	f'c Rata - rata (MPa)	f'c Rencana (MPa)	Selisih (%)
Sampel A	376948	21.330			
Sampel B	449920	25.459			
Sampel C	187948	10.635 *	23.395	22.500	3.977
Sampel D	299008	16.920 *			
Sampel E	165436	9.361 *			

* Data tidak digunakan dalam analisis

Tabel 8.
Hasil pengujian kuat tekan beton f'cr 25 MPa dengan UTM digital

Sampel	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)	f'c Rata - rata (MPa)	f'c Rencana (MPa)	Selisih (%)
Sampel A	494592	27.987			
Sampel B	486832	27.548			
Sampel C	485236	27.458	27.664	25.000	10.658
Sampel D	188844	10.686 *			
Sampel E	327772	18.548 *			

* Data tidak digunakan dalam analisis

Tabel 9.
Hasil pengujian kuat tekan beton f'cr 20 MPa dengan UTM manual

Sampel	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)	f'c Rata - rata (MPa)	f'c Rencana (MPa)	Selisih (%)
Sampel F	404000	22.861			
Sampel G	360000	20.371			
Sampel H	381000	21.560	20.903	20.000	4.516
Sampel I	338000	19.126			
Sampel J	364000	20.598			

* Data tidak digunakan dalam analisis

Tabel 10.
Hasil pengujian kuat tekan beton f'cr 22,5 MPa dengan UTM manual

Sampel	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)	f'c Rata - rata (MPa)	f'c Rencana (MPa)	Selisih (%)
Sampel F	272000	15.392			*
Sampel G	340000	19.239			
Sampel H	482000	27.275	23.964	22.500	6.509
Sampel I	482000	27.275			
Sampel J	390000	22.069			

* Data tidak digunakan dalam analisis

Tabel 11.
Hasil pengujian kuat tekan beton f'cr 25 MPa dengan UTM manual

Sampel	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)	f'c Rata - rata (MPa)	f'c Rencana (MPa)	Selisih (%)
Sampel F	482000	27.275			
Sampel G	428000	24.219			
sampel H	488000	27.614	27.133	25.000	8.533
Sampel I	446000	25.238			
Sampel J	502000	28.407			

* Data tidak digunakan dalam analisis

Dari tabel 5 sampai tabel 11 diatas terlihat, bahwa, secara umum nilai kuat tekan hasil pengujian dengan UTM manual lebih tinggi daripada UTM digital. Faktor yang menyebabkan penggunaan UTM manual lebih tinggi daripada UTM digital karena penggunaan alat dan pembacaan dial beban secara manual yang bisa menyebabkan human error sehingga kurang maksimal dan tepat terhadap kuat tekan maksimum yang dihasilkan.

3.4. Pengujian modulus elastisitas

Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan dengan pembacaan data hasil pengujian kuat tekan menggunakan UTM digital dan UTM manual. Setelah nilai modulus elastisitas dari pembacaan grafik tegangan dan regangan diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas dengan menggunakan rumus SNI 4700 $\sqrt{f'c}$. Hasil pengujian modulus elastisitas dapat dilihat pada Tabel 12 – Tabel 17

Tabel 12.
Hasil pengujian modulus elastis beton f'cr 20 MPa dengan UTM digital

Sampel	Ec Perhitungan Pembacaan Grafik (MPa)	Ec Rumus SNI 4700√f'c (MPa)	Ec Perhitungan Rata - rata (MPa)	Ec Validasi SNI Rata - rata (MPa)	Selisih (%)
Sampel A	17282.051	16897.137	*		
Sampel B	9556.842	15871.810	*		
Sampel C	13566.102	17159.828	16301.317	19251.605	15.325
Sampel D	13433.443	17200.331	*		
Sampel E	19036.533	21343.383			

* Data tidak digunakan dalam analisis

Tabel 13.
Hasil pengujian kuat tekan beton f'cr 22,5 MPa dengan UTM digital

Sampel	Ec Perhitungan Pembacaan Grafik (MPa)	Ec Rumus SNI 4700√f'c (MPa)	Ec Perhitungan Rata - rata (MPa)	Ec Validasi SNI Rata - rata (MPa)	Selisih (%)
Sampel A	22833.404	21712.633			
Sampel B	22490.127	23714.749			
Sampel C	9278.873	15327.333	22661.765	22713.691	0.229
Sampel D	15720.670	19332.946	*		
Sampel E	10182.716	14380.003	*		

* Data tidak digunakan dalam analisis

Tabel 14.
Hasil pengujian modulus elastis beton f'cr 25 MPa dengan UTM digital

Sampel	Ec Perhitungan Pembacaan Grafik (MPa)	Ec Rumus SNI 4700√f'c (MPa)	Ec Perhitungan Rata - rata (MPa)	Ec Validasi SNI Rata - rata (MPa)	Selisih (%)
Sampel A	23155.556	24864.288			
Sampel B	25114.508	24668.509			
Sampel C	22814.444	24628.179	23694.836	24720.325	4.148
Sampel D	9982.278	15364.040	*		
Sampel E	19965.161	20241.673	*		

* Data tidak digunakan dalam analisis

Tabel 15.
Hasil pengujian modulus elastis beton f'cr 20 MPa dengan UTM manual

Sampel	Ec	Ec	Ec	Ec	Selisih (%)
	Perhitungan Pembacaan Grafik (MPa)	Rumus SNI $4700\sqrt{f_c}$ (MPa)	Perhitungan Rata - rata (MPa)	Validasi SNI Rata - rata (MPa)	
Sampel A	22833.404	21712.633			
Sampel B	22490.127	23714.749			
Sampel C	9278.873	15327.333 *	23694.836	24720.325	4.148
Sampel D	15720.670	19332.946 *			
Sampel E	10182.716	14380.003 *			

* Data tidak digunakan dalam analisis

Tabel 16.
Hasil pengujian modulus elastis beton f'cr 22,5 MPa dengan UTM manual

Sampel	Ec	Ec	Ec	Ec	Selisih (%)
	Perhitungan Pembacaan Grafik (MPa)	Rumus SNI $4700\sqrt{f_c}$ (MPa)	Perhitungan Rata - rata (MPa)	Validasi SNI Rata - rata (MPa)	
Sampel A	12858.791	18439.089 *			
Sampel B	13651.580	20615.528			
Sampel C	22180.248	24545.875	23694.836	24720.325	4.148
Sampel D	23851.010	24545.875			
Sampel E	19944.372	22079.402			

* Data tidak digunakan dalam analisis

Tabel 17.
Hasil pengujian modulus elastis beton f'cr 25 MPa dengan UTM manual

Sampel	Ec	Ec	Ec	Ec	Selisih (%)
	Perhitungan Pembacaan Grafik (MPa)	Rumus SNI $4700\sqrt{f_c}$ (MPa)	Perhitungan Rata - rata (MPa)	Validasi SNI Rata - rata (MPa)	
Sampel A	22224.805	24545.875			
Sampel B	20561.425	23130.067			
Sampel C	20475.444	24698.178	21623.260	24207.102	10.674
Sampel D	19484.131	23611.438			
Sampel E	25370.494	25049.950			

* Data tidak digunakan dalam analisis

Dari Tabel 12 sampai Tabel 17 di atas terlihat, bahwa, secara umum nilai modulus elastisitas hasil pembacaan grafik tegangan dan regangan dari UTM digital mendekati nilai modulus elastisitas hasil dari rumus SNI $4700\sqrt{f_c}$ daripada UTM manual.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan berikut:

- (1) Nilai kuat tekan hasil pengujian dengan UTM manual lebih tinggi daripada UTM digital.

- (2) Nilai modulus elastisitas hasil pembacaan grafik tegangan dan regangan dari UTM digital mendekati nilai modulus elastisitas hasil dari rumus SNI $4700\sqrt{f_c}$ daripada UTM manual.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2009). *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. United States: Laurentian University.
- Christianto, D., Utami, T. A., & Yoana, M. (2023, Februari). Sifat Mekanik Beton Tanpa Agregat Kasar. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 6(1).
- Elisabeth, S., Pandaleke, R., & Wallah, S. (2020, Januari). Pengujian Modulus Elastisitas Pada Beton Dengan Menggunakan Tras Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus. *Jurnal Sipil Statik*, 8(1).
- Gora, J., & Piasta, W. (2022). Test Result of the Modulus of Elasticity of Concrete with Various Coarse Aggregates and Standard Recommendations. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 232-243.
- Habibilah, B., & Widodo, S. (2022). Experimental Test on Plyended Polyesterene Additional as a Partial Substitute of Fine Aggregate. *Journal of Engineering and Applied Technology*.
- Halim, A., & Cakrawala, M. (2023). Analisis Perbandingan Perhitungan Nilai Modulus Elastisitas Antara Rumus Empiris SNI, ACI dan ASTM Pada Beton Abu Vulkanik dan Sika dengan Penambahan Serat Sedotan. *The 6th Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH)*.
- Junnaidy, R., Nur, R., & Masdar, A. (2021, November). Rancangan Beton Normal f'c 19,3 Mpa Menggunakan Agregat Kasar Ukuran Butiran Maksimum 40 mm Dengan Vaariasi Campuran Agregat Halus. *Sigma Teknika*, 8(2).
- Layang, S., & Perkasa, P. (2022, Januari). Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Normal Yang Menggunakan Agregat Kasar Gabungan. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 8(1).
- Mia, Miah, & Hasan. (2015). Relationship Between Modulus of Elasticity and Strength of Brick Aggregate Concrete.

- Rochman, A. (2021). *Teknologi Beton*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Setiaji, D. H., Riyanto, S., & Novianto, D. (2021, Juni). Pengaruh Limbah Ban Karet Sebagai Sunstitusi Pasir Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton. *Jurnal Online Skripsi*, 2(2).
- SK SNI T-15-1991-03. (1991). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- SNI 03-2834-2000. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-6820-2002. (2002). *Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran dengan Bahan Dasar Semen*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1969:2008. (2008). *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air agregat kasar*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1970:2008. (2008). *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1974-2011. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2816:2014. (2014). *Metode Uji Bahan Organik dalam Agregat Halus Untuk Beton*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2847:2013. (2013). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2847:2019. (2019). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Tjokrodimuljo, K. (1992). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.
- Tjokrodimuljo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.
- Tjokrodimuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*.
- Zalukhu, D. (2021). Pengaruh Penggunaan Pecahan Keramik Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal.
- Zebua, A. (2022). Analisis Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Limbah Pecah Beton Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar.
- Ivan, A.H., 2005, Desain target optimal, *Laporan Penelitian Hibah Bersaing*, Proyek Multitahun, Dikti, Jakarta.
- Prasetya, E., 2006, Case Based Reasoning untuk mengidentifikasi kerusakan bangunan, *Tesis*, Program Pasca Sarjana Ilmu Komputer, Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wallace, V. P., Bamber, J. C. dan Crawford, D. C. 2000. Classification of reflectance spectra from pigmented skin lesions, a comparison of multivariate discriminate analysis and artificial neural network. *Journal Physical Medical Biology*, No.45, Vol.3, 2859-2871.
- Wyatt, J. C. dan Spiegelhalter, D., 1991, *Field Trials of Medical Decision-Aids: Potential Problems and Solutions*, Clayton, P. (ed.): *Proc. 15th Symposium on Computer Applications in Medical Care*, Vol 1, Ed. 2, McGraw Hill Inc, New York.
- Wyatt, J. C. Spiegelhalter, D, 2008, Field Trials of Medical Decision-Aids: Potential Problems and Solutions, *Proceeding of 15th Symposium on Computer Applications in Medical Care*, Washington, May 3.
- Xavier Pi-Sunyer, F., Becker, C., Bouchard, R.A., Carleton, G. A., Colditz, W., Dietz, J., Foreyt, R. Garrison, S., Grundy, B. C., 1998, Clinical Guidelines on the identification, evaluation, and treatment of overweight and obesity in adults, *Journal of National Institutes of Health*, No.3, Vol.4,123-130, http://journals.lww.com/acsm-msse/Abstract/1998/11001/paper_treatment_of_obesity.pdf.
- Yusoff, M, Rahman, S., A., Mutalib, S., and Mohammed, A., 2006, Diagnosing Application Development for Skin Disease Using Back propagation Neural Network Technique, *Journal of Information Technology*, vol 18, hal 152-159.