

**ANALISIS PENGARUH KELEMBABAN BENDA UJI TERHADAP KUAT TEKAN
DAN KUAT TARIK BELAH BETON MUTU TINGGI DENGAN METODE
DESTRUCTIVE DAN NON DESTRUCTIVE TESTS (COMPRESSION TESTING
MACHINE DAN HAMMER TEST)**
*THE EFFECT OF MOISTURE CONTENT ON THE COMPRESSIVE AND SPLIT TENSILE
STRENGTH OF HIGH STRENGTH CONCRETES USING DESTRUCTIVE AND NON
DESTRUCTIVE TESTS (COMPRESSION TESTING MACHINE AND HAMMER TEST)*

Artikel Ilmiah

Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Mencapai Derajat Sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil



Disusun oleh :
BAIQ FANY ANISTYA
FIA 013 032

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MATARAM
2018**

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENGARUH KELEMBABAN BENDA UJI TERHADAP
KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON MUTU
TINGGI DENGAN METODE DESTRUCTIVE DAN NON
DESTRUCTIVE TESTS (COMPRESSION TESTING MACHINE
DAN HAMMER TEST)**

Oleh :

BAIQ FANY ANISTYA
FIA 013 032

Telah diperiksa dan disetujui oleh Tim Pembimbing :

1. Pembimbing Utama



Hariyadi, ST., MSc(Eng)., Dr.Eng
NIP. 19731027 199802 1 001

Tanggal: 29 Oktober 2018

2. Pembimbing Pendamping



I Nyoman Merdana, ST., MT.
NIP. 19680913 199703 1 001

Tanggal: 29 Oktober 2018

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Jauhar Fajrin, ST., MSc (Eng)., Ph.D
NIP. 19740607 199802 1 001

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENGARUH KELEMBABAN BENDA UJI TERHADAP
KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON MUTU
TINGGI DENGAN METODE DESTRUCTIVE DAN NON
DESTRUCTIVE TESTS (COMPRESSION TESTING MACHINE
DAN HAMMER TEST)**

Oleh :

BAIQ FANY ANISTYA
FIA 013 032

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada tanggal 18 Oktober 2018
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji :

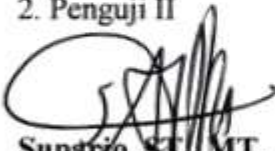
1. Penguji I



Dr. Siti Nur Rahmah A, ST., MT.
NIP : 19720201 199803 2 001

Tanggal : Oktober 2018

2. Penguji II



Suparjo, ST., MT.
NIP : 19670814 199412 1 001

Tanggal : Oktober 2018

3. Penguji III



Ni Nyoman Kencanawati, ST., MT., Ph.D.
NIP : 19760804 200003 2 001

Tanggal : Oktober 2018

Mataram, Oktober 2018

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Akmaluddin, ST., MSc(Eng)., Ph.D
NIP : 19681231199412 1 001

ANALISIS PENGARUH KELEMBABAN BENDA UJI TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BETON MUTU TINGGI DENGAN METODE DESTRUCTIVE DAN NON DESTRUCTIVE TESTS (COMPRESSION TESTING MACHINE DAN HAMMER TEST)

Baiq Fany Anistya¹, Hariyadi², I Nyoman Merdana³

1Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram

2Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram

3Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram

INTISARI

Seiring dengan perkembangan teknologi dan semakin banyaknya gedung bertingkat tinggi maupun jembatan bentang panjang berakibat meningkatnya penggunaan beton mutu tinggi. Teknik pengujian kekuatan beton dengan *non destructive* yang sering diimplementasikan didunia konstruksi adalah *hammer test*. Idealnya alat ini digunakan pada kondisi struktur yang tidak lembab sehingga menghasilkan bacaan dengan akurasi yang tinggi. Namun, nilai bacaan alat ini hanyalah representasi dari permukaan beton saja yang dapat dipengaruhi kelembaban sehingga belum mewakili sifat keseluruhan elemen betonnya. Untuk itu perlu dibandingkan dengan *destructive test* menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) yang merupakan standar alat uji kekuatan beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kelembaban terhadap kuat tekan dengan *destructive* dan *non destructive test* dan kuat tarik belah beton mutu tinggi dengan *destructive test*. Penelitian ini menggunakan beton mutu tinggi dengan mutu beton rencana sebesar 45 MPa pada umur 28 hari, dengan variasi kelembaban yang diukur pada 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 14 dan 21 hari setelah pengangkatan dari perendaman, serta satu variasi benda uji yang dioven selama 2 hari untuk mendapatkan kelembaban yang rendah. Pengujian kekuatan beton berupa kuat tekan maupun kuat tarik belah menggunakan benda uji berbentuk kubus dengan dimensi 15 cm x 15 cm x 15 cm. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan dua cara yaitu dengan *Compression Testing Machine* (CTM) dan *Hammer Test*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelembaban berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton dengan *destructive test* dan *non destructive test*. Akan tetapi, tidak signifikan pengaruhnya terhadap kuat tarik belah beton. Hal ini dibuktikan dari hasil analisis statistik dengan one way ANOVA. Kenaikan kelembaban sebesar 10% menyebabkan menurunnya kuat tekan sebesar 7,68% untuk *hammer test* dan 2,16% untuk CTM, karena CTM merupakan pengujian dalam keadaan sebenarnya dari keseluruhan elemen beton, sehingga efek penurunan kuat tekan akibat pengaruh kelembaban meninjau pada penurunan hasil pengujian CTM. Kuat tekan *hammer test* lebih rendah dibanding *Compression Testing Machine* sebesar 8,90 Mpa pada kelembaban 40%, dan semakin besar selisihnya seiring bertambahnya kelembaban permukaan beton. Pada berbagai variasi kelembaban, rasio kuat tarik belah terhadap kuat tekan berkisar antara 8,48% - 11,84%.

Kata kunci: beton mutu tinggi, kuat tekan, kuat tarik belah, kelembaban, CTM, *hammer test*.

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan konstruksi yang sangat luas penggunaannya dalam konstruksi bangunan. Beton merupakan bahan bangunan komposit yang umumnya tersusun dari kombinasi agregat dengan bahan pengikat semen. Sampai saat ini beton masih menjadi

pilihan utama dalam pembuatan struktur baik yang berhubungan dengan bangunan gedung, jembatan, pelabuhan, jalan dan bangunan-bangunan lainnya.

Perkembangan teknologi dalam bidang konstruksi di Indonesia terus menerus mengalami peningkatan, hal ini tidak lepas

dari tuntutan dan kebutuhan masyarakat terhadap fasilitas infrastruktur yang semakin maju, seperti jembatan dengan bentang panjang dan lebar, bangunan gedung bertingkat tinggi, dan fasilitas lain. Perencanaan fasilitas-fasilitas tersebut mengarah kepada digunakannya beton mutu tinggi, dimana mencakup kekuatan, ketahanan (keawetan), masa layan dan efisiensi.

Menurut Hannachi dan Guetteche (2012), kekuatan beton tergantung dari banyak faktor, antara lain proporsi dari campuran pembentuknya, kondisi temperatur dan kelembaban. Dimana kekuatan beton pada kondisi lembab perlu diuji sebagai upaya awal dalam mempertimbangkan perencanaan struktur yang akan dibangun dan mengevaluasi struktur yang sudah berdiri. Dan menurut Chen dkk (2012), pengaruh lingkungan setempat terhadap kekuatan beton terutama kelembaban permukaan struktur, sangat penting untuk diketahui dengan melakukan pengujian kekuatan beton. Terutama pada struktur yang terkena kondisi lingkungan yang ekstrim seperti pada pilar jembatan, bendungan dan struktur pantai lainnya.

Pengujian kekuatan beton yang paling banyak dilakukan diantaranya pengujian yang bersifat tidak merusak (*non destructive test*) dan yang merusak secara keseluruhan komponen-komponen yang diuji (*destructive test*). Namun, metode pengujian kekuatan beton yang sudah terbukti tingkat keandalan paling tinggi adalah pengujian merusak (*destructive test*) dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM). *Destructive test* sifatnya merusak benda uji, sampel ditekan sampai pecah dengan CTM dan diperoleh data kekuatan mutu beton yang sifatnya aktual. Tetapi dalam beberapa hal *destructive test* dipandang kurang praktis karena pelaksanaannya harus dilakukan di laboratorium. Sehingga cocok digunakan untuk sampel beton yang baru dibuat waktu pekerjaan pengecoran. Untuk bangunan yang telah berdiri maupun bangunan lama, sampel diperoleh dari pemboran inti (*coring*), kemudian hasilnya dibawa ke laboratorium

untuk diuji tekan, oleh sebab itu dipandang kurang praktis dan lebih praktis menggunakan cara *non destructive test*.

Pengujian tidak merusak (*non destructive test*) merupakan pengujian terhadap beton untuk mengetahui adanya cacat, retak dan kerusakan lain serta untuk mengetahui kuat tekan beton tanpa merusak benda yang diuji. Pengujian ini sangat bermanfaat untuk mendeteksi kerusakan atau kecacatan pada struktur yang sudah jadi tanpa merusak komponen struktur tersebut, seperti menguji kuat tekan terhadap konstruksi jembatan, kolom dan komponen struktur yang sudah selesai dibangun terhadap pengaruh kelembaban permukaan struktur tersebut.

Teknik pengujian tidak merusak yang umum digunakan di dunia konstruksi adalah dengan menggunakan *hammer test*. Menurut Sulistya (2014), *Hammer test* idealnya digunakan pada kondisi struktur yang tidak lembab atau basah sehingga bacaan yang dihasilkan memiliki tingkat akurasi yang tinggi dibanding pada kondisi lembab. Prinsip kerja alat ini berupa pantulan pada permukaan beton, sehingga nilai bacaan yang didapatkan hanyalah representasi dari permukaan saja dan belum mewakili sifat beton keseluruhan elemen betonnya, sehingga perlu adanya metode lain sebagai pembanding.

TUJUAN PENELITIAN

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi kelembaban permukaan beton terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah menggunakan *metode destructive test (Compression Testing Machine)* dan *non destructive test (Hammer Test)*.
2. Untuk mengetahui rasio kuat tarik belah terhadap kuat tekan akibat pengaruh variasi kelembaban permukaan beton.

LANDASAN TEORI

Dalam penelitian Shoukry, dkk (2011) menyimpulkan bahwa suhu dan kelembaban memiliki peran besar dalam mempengaruhi sifat-sifat beton. Suhu yang lebih tinggi dan

derajat lebih tinggi dari kejenuhan akan menghasilkan kekuatan beton yang lebih rendah dalam kompresi, tegangan, dan dalam modulus elastisitasnya. Pengaruh suhu dan kelembaban pada rasio poisson diabaikan. Kisaran suhu yang disajikan dalam penelitian ini meliputi jenis, kondisi lapangan dalam cuaca panas dan dingin. Dan direkomendasikan bahwa desain struktur beton harus memperhitungkan variabilitas dari sifat beton dengan tingkat suhu dan kelembaban karena dapat mempengaruhi perilaku struktural, kekuatan dan kekakuan beton tersebut. Dimana dengan meningkatkan kelembaban pada kuat tekan beton normal menyebabkan kuat tekan menjadi lebih rendah.

Guang (2004) melakukan penelitian terhadap pengujian kuat tarik belah beton dengan variasi kelembaban pada 0 hari, 1 hari, 3 hari, 7 hari, 14 hari dan dioven untuk mendapatkan kondisi kering permukaan terhadap permukaan beton. Hasil eksperimen kuat tarik belah beton tidak berpengaruh signifikan terhadap kelembaban pada permukaan beton. Hal ini didapat dari hasil kuat tarik belah beton pada semua variasi pengangkatan tidak berbeda jauh terhadap rasio faktor kontrol beton pada saat dioven yaitu, pada 0 hari, 1 hari, 3 hari, 7 hari, dan 14 hari nilai kuat tekan masing-masing adalah 4,12 Mpa, 3,78 Mpa, 3,73 Mpa, 3,44 Mpa, 3,53 Mpa, 3,41 Mpa dan hasil benda uji yang dioven sebesar 4,37 Mpa.

Penelitian mengenai pengaruh kelembaban terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton dengan *Compression Testing Machine* yang dilakukan oleh Chen, dkk (2012). Dengan benda uji silinder ukuran 150 mm x 300 mm dengan variasi kelembaban beton sebesar 100%, 92%, 87%, 52%, dan 0%. Menyimpulkan bahwa semakin besar kandungan kelembaban pada beton, maka kuat tekan beton tersebut menjadi rendah. Akan tetapi, pada kuat tarik belah beton kandungan kelembaban pada beton tidak berpengaruh secara signifikan.

Pentingnya pengujian *non destructive*, yang sering digunakan untuk menguji struktur beton setelah beton mengeras untuk

menentukan apakah struktur yang dirancang ini cocok untuk digunakan. Idealnya pengujian tersebut harus dilakukan tanpa merusak beton. Tes yang tersedia untuk menguji beton harus dilakukan tanpa merusak beton. Tes yang tersedia untuk menguji beton harus dilakukan tanpa terjadinya kerusakan permukaan pada beton. Pengujian sifat yang dapat diuji dengan menggunakan tes *non destructive* adalah cukup besar dan termasuk parameter mendasar seperti kepadatan, modulus elastisitas dan kekuatan serta kekerasan permukaan dan penyerapan permukaan. Dalam beberapa kasus juga memungkinkan untuk memeriksa kualitas pengerjaan dan kekuatan struktural oleh kemampuan untuk mendeteksi lubang, retak dan terkelupasnya permukaan beton. pengujian *non destructive* dapat diterapkan untuk struktur lama dan struktur yang baru dibangun. Untuk struktur yang baru dibangun, aplikasi utama cenderung untuk pengendalian kualitas atau resolusi keraguan tentang kualitas bahan atau konstruksi. Pengujian struktur yang ada adalah biasanya terkait dengan penilaian kekuatan struktural (Agency, IAE. 2002).

Penelitian tentang *non destructive test* dengan menggunakan metode *hammer test*, *UPV test* dan juga *compression test*, yang bertujuan untuk mendapatkan suatu persamaan korelasi dengan berbagai parameter beton seperti agregat, semen, dan lainnya yang dilakukan Mahmoudipour (2009). Benda uji yang dipakai adalah silinder diameter 4 inch dengan tinggi yang berbeda-beda. Sedangkan tinggi silinder minimal dua kali diameternya. Kemudian nilai kuat tekan silinder ini dikonversi ke kuat tekan kubus 20 x 20 cm³ untuk bisa dibandingkan. Kemudian nilai kuat tekan inilah yang akan dibandingkan dengan nilai kuat tekan yang didapatkan dari UPV dan *rebound hammer*. Dari hasil tes terhadap benda uji, didapatkan persamaan korelasi antara UPV, *rebound hammer* dan *compression test* sebagai berikut :

$$C=0,0148UPV + 0,5285R - 43,32.$$

Pengujian Merusak (*Destructive Test*)

Benda diuji kekuatannya sampai hancur untuk mendapatkan sifat mekanik.

Beton harus dirancang proporsi campurannya agar menghasilkan suatu konstruksi kuat tekan rata-rata yang disyaratkan ($f'c$). Pada tahap pelaksanaan konstruksi, beton yang telah dirancang campurannya harus diproduksi sedemikian rupa sehingga memperkecil frekuensi terjadinya beton dengan kuat tekan yang lebih rendah dari $f'c$ seperti yang telah disyaratkan.

$$f'c = \frac{P}{A}$$

dengan :

$f'c$ = kekuatan tekan (Mpa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas bidang tekan (mm^2)

Pengujian Tidak Merusak (*Non Destructive Test*)

Pengujian tidak merusak (*non destructive tes*) adalah teknik pengujian material tanpa merusak benda uji. Pengujian ini dilakukan untuk menjamin bahwa material yang digunakan masih aman dan belum melewati batas toleransi kerusakan. Pengujian tidak merusak lebih praktis dan lebih efektif karena bisa dilakukan langsung dilapangan tanpa harus membawa benda uji ke laboratorium. Dalam dunia teknik sipil pengujian tidak merusak yang umum digunakan adalah *hammer test*.

Hammer Test

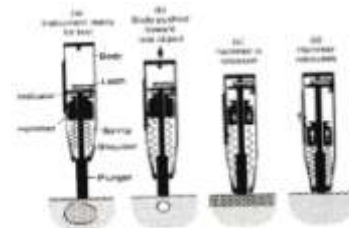
Hammer test adalah suatu alat pemeriksaan mutu beton tanpa merusak beton. Alat ini sangat peka terhadap kondisi dipermukaan dan variasi kekerasan yang ada pada permukaan beton, misalnya keberadaan partikel baja tulangan pada bagian tertentu dekat permukaan maka pembacaan akan berbeda jauh. Oleh karena itu, diperlukan beberapa kali pengujian disetiap lokasi pengujian, yang hasilnya kemudian dirata-ratakan dan pada umumnya *hammer test*

tidak dianjurkan dilakukan pada beton berumur kurang dari 7 hari.

Rebound hammer merupakan pengujian yang dilakukan dengan memberikan beban *impact* (tumbukan) pada permukaan beton dengan menggunakan suatu massa yang diaktifkan dengan menggunakan energi yang besarnya tertentu. Jarak pantulan yang timbul dari massa tersebut akibat tumbukan yang terjadi dapat memberikan indikasi kekerasan beton tersebut. Standar atau prosedur dalam menggunakan metode pengujian ini dapat dilihat pada ASTM C 805 (*American standard Testing and Material*) dan pada SK.SNI 03-4430-1997.

Menurut American Concrete Institute, alur yang terjadi pada saat pengujian ini dilakukan adalah sebagai berikut :

- Plunger diposisikan secara tegak lurus pada permukaan beton dan jarak antar yang di *hammer* tidak boleh kurang dari 25 mm.
- Ketika badan alat ditekan ke beton pegas yang menghubungkan antara *hammer* (*system massa*) dengan badan alat menjadi memanjang.
- Dan ketika penekanan terjadi secara sempurna, *latch* (palang penahan) terlepas, dan pegas tersebut menarik sistem massa menuju beton.
- Sistem massa tersebut menumbuk bahu *plunger* dan kemudian memantul.
- Sistem massa yang memantul menggerakkan sebuah indikator geser, yang mana indikator tersebut mencatat nilai *rebound*.



Gambar 1. Sketsa *hammer test* (*ACI Committee 228 Report*)

Pada pengujian *hammer*, nilai *rebound* hanya dipengaruhi beton yang berada di dekat plunger. Plunger yang diletakkan di atas partikel agregat keras akan

menghasilkan nilai *rebound* yang tinggi, sedangkan jika plunger diletakkan di atas agregat lunak dan mempunyai rongga udara yang besar akan menghasilkan nilai rebound yang rendah. Dalam mengatasi hal ini, maka disyaratkan mengambil 10 nilai rebound dengan jarak 2,5 cm untuk tiap tembakan pada tiap tes bidang yang akan diuji. Beton yang akan di tes harus mempunyai ketebalan 100 mm (4 in) dan harus mempunyai kekakuan yang cukup (ASTM C805).

Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik beton bervariasi antara 8% sampai 15% dari kuat tekannya. Alasan dari kuat tarik yang kecil ini adalah kenyataan bahwa beton dipenuhi oleh retak-retak halus. Meskipun biasanya diabaikan dalam perhitungan desain, kuat tarik tetap merupakan sifat penting yang mempengaruhi ukuran beton dan seberapa besar retak yang terjadi. Selain itu, kuat tarik dari batang beton diketahui selalu akan mengurangi jumlah lendutan (McCormac, 2000).

Metode pengujian kuat tarik belah benda uji berbentuk kubus berpedoman pada *British Standard part 117* tentang *Method for determination of tensile splitting strength*. Dimana dalam pengujian kuat tarik belah beton bentuk kubus dengan pemberian beban dilakukan secara menerus tanpa sentakan dengan dengan kecepatan pembebanan yang konstan pada titik tengah permukaan beton kubus tersebut.

Neville (1999), pada beton yang berbentuk kubus dapat dilakukan pengujian kuat tarik belah dengan menggunakan persamaan $\sigma_t = 2P/(\pi a^2)$ dimana a adalah sisi dari kubus yang menjadi pusat perlawanan beban yang terjadi. Jadi persamaan kuat tarik pada beton yang berbentuk kubus adalah :

$$\sigma_t = \frac{2P}{(\pi a^2)}$$

Dengan :

σ_t = kuat tarik belah beton (Mpa)

P = beban maksimum (N)

a = panjang sisi kubus (mm²)

Kelembaban

Kelembaban beton adalah kadar air bebas yang terdapat pada pori-pori beton yang dapat menguap. Sebagaimana perubahan kandungan kelembaban yang menyebabkan beton menjadi basah atau kering seiring terjadinya perubahan kadar air pada permukaan beton tersebut yang dapat memberikan efek pada sifat mekanik pada beton (Chen,dkk. 2012).

Pengujian Statistik

Statistik adalah sekumpulan cara ataupun aturan-aturan yang berkaitan dengan pengumpulan pengelolaan (analisis), penarikan kesimpulan atas data-data yang berbentuk angka, dengan menggunakan suatu asumsi tertentu (Irianto, 2004). Statistik merupakan salah satu metode analisis yang banyak digunakan dalam penelitian karena hasil analisis data statistik dapat sebagai alat bantu mengambil suatu keputusan dalam penelitian. Metode statistik yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah ANOVA untuk mengetahui signifikansi dari pengaruh kelembaban yang terjadi pada kuat tekan beton normal.

ANOVA Satu Arah

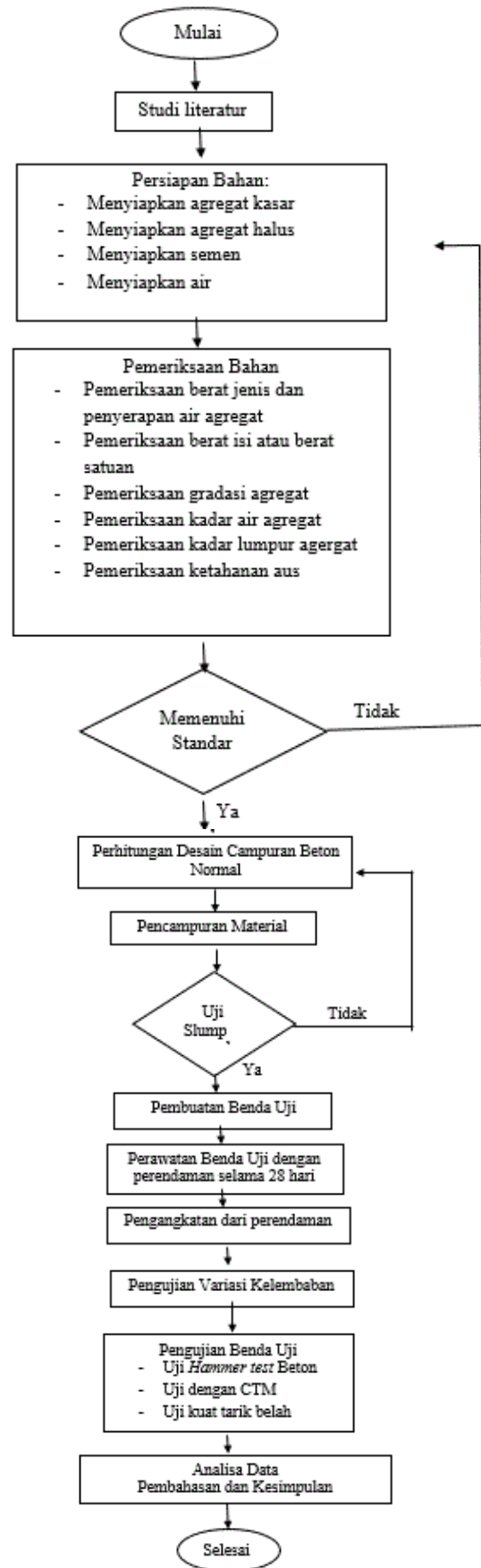
Merupakan teknik analisis statistik yang dapat memberi jawaban atas ada atau tidaknya perbedaan skor pada masing-masing kelompok, dengan suatu risiko kesalahan yang sekecil mungkin juga dapat memberi informasi tentang ada tidaknya interaksi antar variabel bebas sehubungan dengan pengukuran terhadap variabel terikat (Irianto, 2004).

Dalam penelitian ini *F-Test* digunakan untuk mengetahui signifikansi pengaruh beton normal akibat pengaruh kelembaban. Namun kesimpulan yang didasarkan pada perhitungan F test dalam ANOVA merupakan kesimpulan yang masih umum karena tidak menunjukkan hubungan pengaruh dari faktor kontrol kelembaban

yang digunakan. Oleh karena itu untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih spesifik maka dilakukan uji lanjut pasca ANOVA yaitu uji *Dunnet*, *Tukey*, dan *Fisher* untuk mengetahui variasi kelembaban terhadap faktor kontrol baik uji kuat tekan dengan metode destructive dan non destructive serta kuat tarik belah yang berbeda signifikan dan tidak berbeda signifikan.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang dilakukan adalah eksperimen yaitu dengan merencanakan mutu beton sebesar 45 MPa sesuai dengan SK. SNI 03-2834 -2002. Benda uji yang digunakan terdiri dari 66 beton kubus ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm dengan umur 28 hari. Dalam pengujian *hammer test* yang berpedoman pada ASTM C 805 (American Standard Testing and Material) dan pada SK.SNI 03-4430-1997. Pengujian kuat tekan beton dilakukan berdasarkan SK.SNI 03- 1974-1990 dan pengujian kuat tarik dengan *British Standard part 117 tentang Method for determination of tensile splitting strength*. Tahap penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Bagan Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton mutu tinggi dari campuran kerikil, pasir, semen, dan air yang telah memenuhi persyaratan, serta superplasticizer tipe viscocrete 3115 N sebagai bahan tambah kimia untuk menambah *workability* dari campuran beton. Dari hasil pemeriksaan bahan-bahan penyusun beton yang telah dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil Fakultas Teknik diperoleh sifat fisik beton yang diuji meliputi pemeriksaan terhadap berat satuan agregat, pemeriksaan gradasi agregat, pemeriksaan kandungan lumpur agregat dan pemeriksaan berat jenis agregat serta keausan agregat.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Agregat

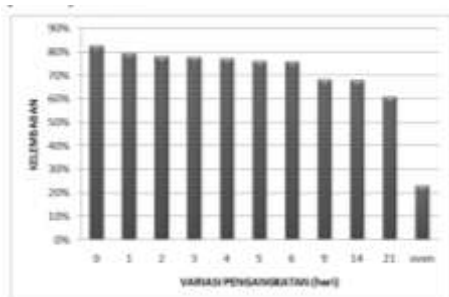
Agregat	Kadar Lumpur (%)	Berat Satuan		Berat Jenis		Gradasi MHB	Keausan (%)	
		Lepas	Padat	Kering	SSD		100 Putaran	500 Putaran
Pasir	0,419	1,157	1,369	2,456	2,73	3,057	-	-
Kerikil	2,1	1,40	1,44	2,58	2,62	6,639	6,14	30,42

Pengujian Slump

Nilai slump yang baik menurut Tjokrodinuljo (1996) adalah berkisar antara 5 cm sampai 12,5 cm. Adapun nilai slump pada hasil pengujian yang didapatkan adalah 6,5 cm, jadi sudah memenuhi syarat yang telah ditetapkan.

Hasil Pengujian Kelembaban Beton

Pengujian kelembaban beton yang dilakukan dengan alat *digital moisture meter* untuk mengukur persentase kelembaban beton. Dari hasil pengujian tersebut yang diperoleh kelembaban dari 11 variasi pengangkatan beton yang dapat dilihat pada Gambar 3



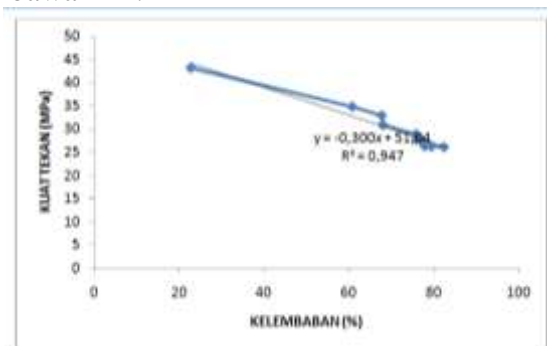
Gambar 3. Hasil Pengujian kelembaban

Pada Gambar 3 menggambarkan bahwa semakin lama proses pengangkatan pada beton tersebut maka semakin rendah persentase kelembaban pada beton mutu tinggi. Pada 6 hari ke 9 hari pengangkatan terjadi penurunan persentase kelembaban yang cukup besar yakni dari 75,81% ke 68,06%, begitu pula pada pengangkatan pada 14 hari ke 21 hari yakni dari 67,74% ke 61,36% dan pada pengangkatan pada 0 hari sampai 6 hari mengalami penurunan kelembaban yg lebih rendah.

Hasil Pengujian Kuat Tekan Pengujian Non Destructive Test

Dalam pelaksanaan pengujian kuat tekan beton dengan menggunakan rebound hammer harus memperhatikan keadaan permukaan beton, karena permukaan beton merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pembacaan *rebound* (pantulan).

Hasil dari pengujian tersebut berupa nilai rata-rata dari hasil pengujian hammer test yang telah memenuhi syarat, yang selanjutnya dikorelasi dengan tabel nilai dari jenis alat yang digunakan menjadi nilai kuat tekan beton dalam satuan kg/cm^2 dan selanjutnya dijadikan satuan Mpa. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4. dibawah ini.



Gambar 4. Hubungan kuat tekan *hammer test* dengan kelembaban

Persamaan regresi linier pengaruh kelembaban terhadap kuat tekan beton mutu tinggi pada Gambar 4.5 dapat dibuat persamaan matematis sebagai berikut:

$$y = -0,300x + 51,04$$

dengan :

$$y = f'ch$$

$$x = m$$

Maka;

$$f'_{ch} = -0,300m + 51,04 \quad (3)$$

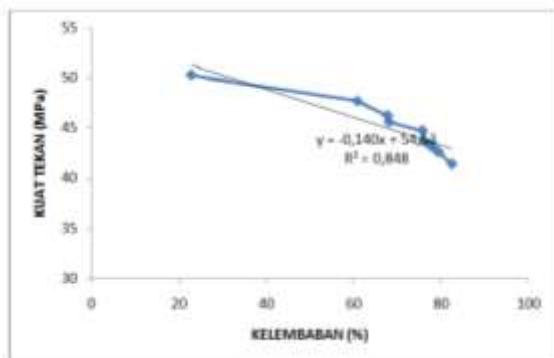
dengan :

$$\begin{aligned} f'_{ch} &= \text{Kuat tekan hammer (Mpa)} \\ m &= \text{Kelembaban (\%)} \end{aligned}$$

Persentase perubahan kuat tekan akibat pengaruh variasi kelembaban dianalisis menggunakan persamaan (3) bahwa setiap kenaikan 10% kelembaban terjadi penurunan kuat tekan sebesar 7,68% atau 3,00 MPa.

Pengujian Destructive Test

Pengujian kuat tekan beton mutu tinggi dengan cara merusak benda uji (*destructive test*) dengan menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM). CTM memiliki nilai akurasi yang tinggi bila dibandingkan dengan *hammer test* sehingga digunakan sebagai pembanding untuk mengetahui nilai kuat tekan beton yang sebenarnya bila menguji kuat tekan beton dengan menggunakan *hammer test*.



Gambar 5. Hubungan kuat tekan CTM terhadap kelembaban

Pada Gambar 4.6 menggambarkan bahwa semakin tinggi persentase kelembaban pada permukaan beton semakin rendah kuat tekannya. Persamaan regresi linier pada Gambar 4.6, dapat dibuat persamaan matematis yang dapat memudahkan dalam menghitung nilai kuat tekan CTM akibat pengaruh kelembaban pada permukaan beton.

$$y = -0,140x + 54,53$$

dengan:

$$y = f'_{c}$$

$$x = m$$

Maka, dibuat formula pendekatan sebagai berikut:

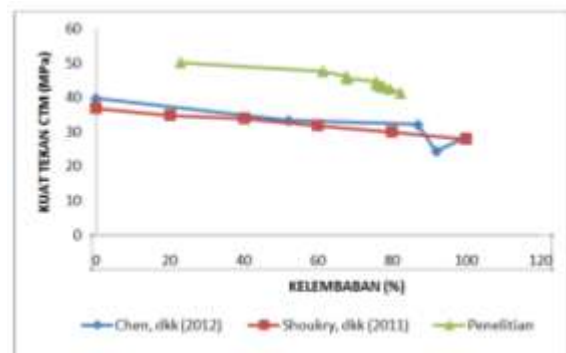
$$f'_{c} = -0,140m + 54,53 \quad (4)$$

dengan:

$$f'_{c} = \text{Kuat tekan CTM (MPa)}$$

$$m = \text{Kelembaban (\%)}$$

Dari Persamaan 4 didapatkan penurunan kuat tekan CTM sebesar 2,16% atau 1,03 MPa pada setiap perubahan 10% kelembaban. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6 yang menunjukkan perbandingan penelitian penulis dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Chen, dkk. (2012) dan Shoukry, dkk. (2011).



Gambar 6. Perbandingan nilai kuat tekan CTM

Hubungan Antara *Hammer Test* dan CTM

Pada Gambar 7 mendeskripsikan hubungan kuat tekan *hammer test* dan CTM, dengan 11 variasi kelembaban yaitu pada 0 hari, 1 hari, 2 hari, 3 hari, 4 hari, 5 hari, 6 hari, 9 hari, 14 hari, 21 hari, setelah pengangkatan dari perendaman serta satu variasi benda uji dengan dioven selama 2 hari untuk mendapatkan persentase kelembaban yang rendah.



Gambar 7. Hubungan kuat tekan hammer test dengan CTM

Dapat dilihat pada gambar 7 menunjukkan perbedaan uji kuat tekan hammer dengan CTM pada umur 28 hari pada pengujian 0 hari sampai dengan pengujian 21 hari beserta pengujian pada kondisi beton kering permukaan.

Perbedaan uji kuat tekan hammer dengan CTM pada umur 28 hari pada pengujian 0 hari sampai dengan pengujian 21 hari beserta pengujian pada kondisi beton dioven. dengan menggunakan persamaan matematis pada Persamaan (3) dan (4), dapat ditinjau pada Tabel 2.

Tabel 2 Selisih kuat tekan hammer test dengan CTM

Kelembaban (%)	f'_{ch} (MPa)	f'_c (MPa)	Selisih (MPa)
(1)	(2)	(3)	(3) - (2)
40	39,04	47,94	8,90
50	36,04	46,54	10,50
60	33,04	45,14	12,10
70	30,04	43,74	13,70
80	27,04	42,34	15,30

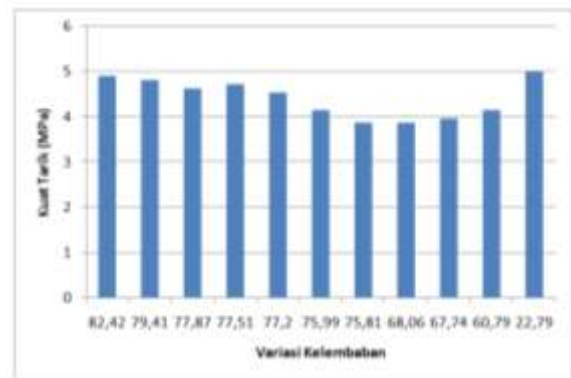
Meningkatnya persentase kelembaban pada hasil hammer test dan CTM, berakibat pada meningkatnya selisih kuat tekan yang didapatkan. Pada Tabel 2., kelembaban 40% kuat tekan hammer test lebih rendah dari CTM sebesar 8,90 MPa dan selisihnya semakin meningkat seiring bertambahnya persentase kelembaban pada permukaan beton.

Kuat Tarik Belah Beton Mutu Tinggi

Pengujian kuat tarik belah bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tarik beton, yang dianalisis dan dibandingkan dengan

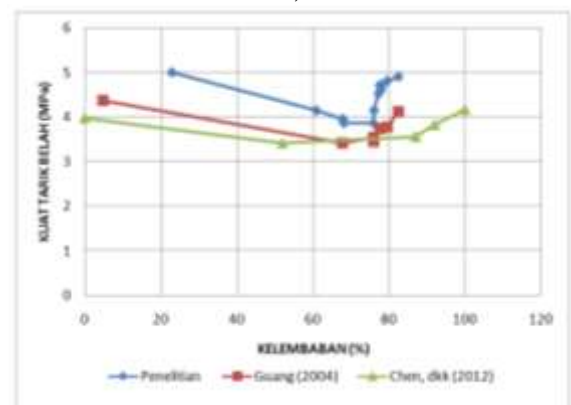
kuat tekan beton dengan metode *destructive test* (CTM), sehingga didapatkan perbandingan nilai kuat tarik belah beton dengan kuat tekan. Banyaknya sampel yang digunakan dalam pengujian tarik belah beton ini adalah 33 buah benda uji dengan 11 variasi kelembaban, jadi jumlah benda uji yang ditarik pada masing-masing variasi kelembaban sebanyak 3 buah kubus beton. hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar

4.14 dengan 11 variasi kelembaban beton.



Gambar 8. Kuat tarik belah terhadap variasi kelembaban

Pada Gambar 8 terdapat nilai kuat tarik belah pada masing-masing variasi kelembaban, dimana nilai kuat tarik pada kelembaban terjadi penurunan pada kelembaban 82,42% terhadap faktor kontrol, dimana faktor kontrol kelembaban adalah nilai kuat tarik belah terbesar yang terjadi pada beton yang dioven selama 2 hari dengan kelembaban sebesar 22,79%.



Gambar 9. Perbandingan hasil kuat tarik belah

Pada Gambar 9 yang menunjukkan perbandingan penelitian yang dilakukan pada

pengaruh kelembaban terhadap kuat tarik belah beton dengan penelitian sebelumnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelembaban permukaan beton tidak signifikan pengaruhnya terhadap kuat tarik belah, hal ini diperkuat juga dengan hasil penelitian Chen, dkk (2012) dan Guang (2004) yang menyatakan bahwa kandungan kelembaban pada beton tidak terdapat pengaruh yang signifikan terhadap kuat tarik belah beton.

Untuk mengetahui rasio kuat tekan beton uji CTM dengan kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 3. Perbandingan kuat tarik belah dengan kuat tekan uji CTM

Kelembaban	Tekan CTM (MPa)	Kuat Tarik (MPa)	Perbandingan f_t dan f'_c (%)
22,79%	50,292	5,001	9,944
60,79%	47,710	4,152	8,703
67,74%	46,234	3,963	8,572
68,06%	45,619	3,869	8,481
75,81%	44,759	3,869	8,644
75,99%	43,775	4,152	9,485
77,20%	43,406	4,529	10,434
77,51%	43,283	4,718	10,900
77,87%	43,160	4,624	10,714
79,41%	42,668	4,812	11,278
82,42%	41,439	4,907	11,842

Pada Tabel 4.7, menunjukkan nilai perbandingan kuat tarik belah berkisar antara 8,481% - 11,842% terhadap variasi kelembaban.

Pengujian Statistik ANOVA Satu Arah (Uji F)

Hasil pengujian uji F digunakan untuk mengetahui signifikansi pengaruh kelembaban terhadap mutu beton baik itu kuat tekan beton dengan cara *destructive* (CTM) dan *non destructive test* (*hammer test*) maupun kuat tarik belah beton dengan alat CTM.

Hasil Uji F Kuat Tekan dengan Compressing Testing Machine (CTM)

Hasil perhitungan manual pada Tabel 4 dan output program minitab pada Tabel 5 terhadap kuat tekan CTM akibat pengaruh kelembaban diperoleh nilai F hitung yang sama sebesar 2,78 yang berarti tidak ada kesalahan dalam perhitungan manual.

Tabel 4. Hasil perhitungan manual uji F kuat tekan CTM

Sumber Variance	dk	SS	MS	F
Antar Kelompok	10	195,49	19,55	2,78
Dalam Kelompok	22	154,95	7,04	
Total	32	350,44		

Nilai F tabel dari tabel distribusi adalah 2,30. Dengan demikian dapat dinilai bahwa $F_{hitung} (2,78) > F_{tabel} (2,30)$, maka hipotesis 0 harus ditolak karena terdapat pengaruh yang signifikan kuat tekan CTM terhadap variasi kelembaban.

Tabel 5 Hasil output minitab kuat tekan CTM

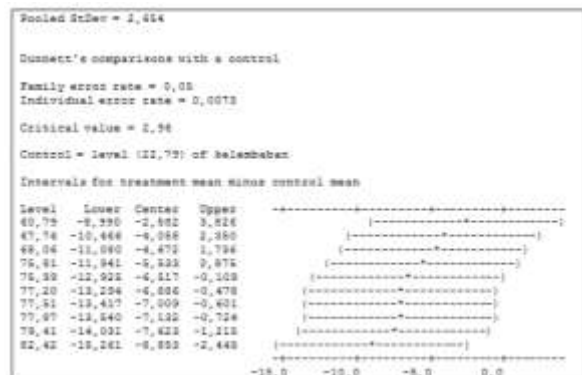
```

One-way ANOVA: kuat tekan versus kelembaban
Source      DF      SS      MS      F      P
kelembaban  10     195,49  19,55  2,78  0,022
Error       22     154,95   7,04
Total       32     350,44

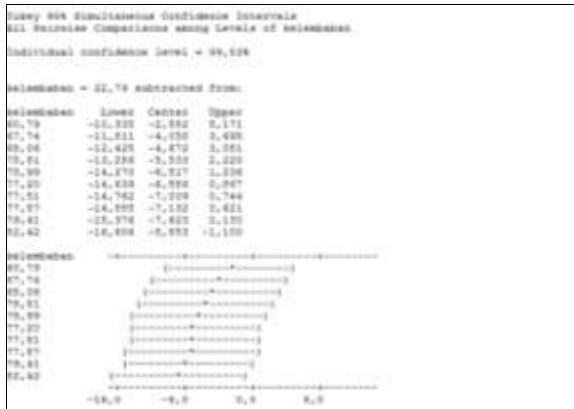
β = 2,654   R-Sq = 55,78%   R-Sq(adj) = 35,69%
  
```

Untuk lebih menguatkan analisis maka dilakukan uji *Dunnet*, *Tukey* dan *Fisher* yang tersedia dalam program Minitab 16.

Tabel 6. Output kuat tekan CTM dengan metode *Dunnet*



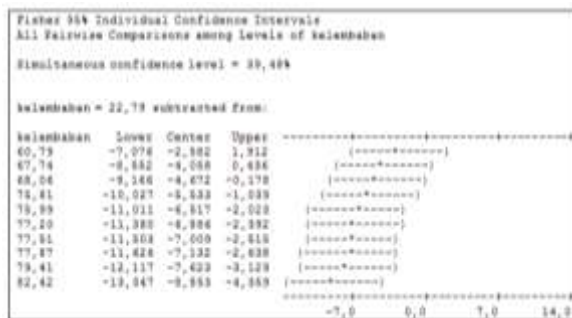
Tabel 7. Output kuat tekan CTM dengan metode *Tukey*



Output metode *Tukey* menunjukkan variasi kelembaban pada 82,42 terdapat pengaruh yang signifikan terhadap faktor kontrol kelembaban 22,79. Akan tetapi pada sembilan variasi kelembaban lainnya tidak terdapat pengaruh yang signifikan kuat tekan beton terhadap faktor kelembaban karena kesembilan variasi tersebut telah mencakup bilangan 0 (nol).

Tabel 8. output metode *Fisher*, yang mendeskripsikan secara umum terhadap faktor kontrol kelembaban pada 22,79 menunjukkan bahwa pada variasi kelembaban 68,06, 75,81, 75,99, 77,20, 77,51, 77,87, 79,41 dan 82,42 terdapat pengaruh yang signifikan terhadap faktor kontrol kelembaban karena masing-masing persentase kelembaban tersebut tidak mencakup bilangan 0 (nol), sedangkan sisa variasi yang lainnya tidak ada pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan CTM dengan faktor kontrol, karena telah mencakup bilangan 0 (nol).

Tabel 8. Output kuat tekan CTM dengan metode *Fisher*



Hasil Uji F Kuat Tekan Dengan *Hammer Test*

Tabel 9 Hasil uji F manual kuat tekan *hammer test*

Sumber Variance	dk	SS	MS	F
Antar Kelompok	10	801,05	80,11	16,08
Dalam Kelompok	22	109,65	4,98	
Total	32	910,70		

Tabel 10 Output kuat tekan *hammer* dengan minitab

One-way ANOVA: kuat tekan hammer test versus kelembaban					
Source	DF	SS	MS	F	P
kelembaban	10	801,25	80,13	16,08	0,000
Error	22	109,45	4,98		
Total	32	910,90			

S = 2,232 R-Sq = 87,96% R-Sq(adj) = 82,49%

Nilai F pada Tabel 9 dengan Tabel 10 adalah sama, maka dapat dipastikan tidak adanya kesalahan dalam perhitungan manual.

Nilai F tersebut kemudian dibandingkan dengan F tabel yang dapat dilihat pada lampiran. Besarnya F tabel adalah 2,30 dengan tingkat kesalahan 5%, yang menandakan bahwa hipotesis 0 harus ditolak karena terdapat pengaruh yang signifikan kuat tekan *hammer test* terhadap kelembaban, karena F hitung (16,08) > F tabel (2,30).

Untuk lebih menguatkan analisis maka dilakukan uji *Dunnet*, *Tukey* dan *Fisher* yang tersedia dalam program Minitab.

Tabel 11. Output kuat tekan CTM dengan metode *Dunnet*

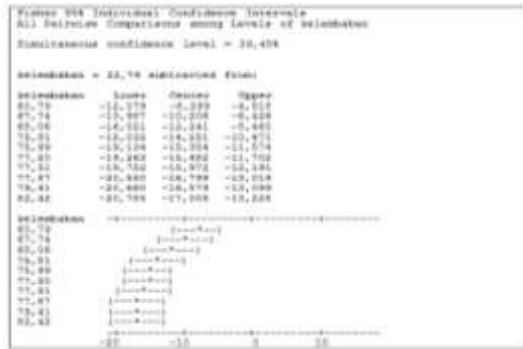


Hasil uji *Tukey* yang tersaji pada Tabel 4.17 menunjukkan bahwa nilai rata-rata kuat tekan *hammer test* pada seluruh variasi kelembaban terjadi pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan faktor kontrol kelembaban pada 22,79 karena tidak mencakup bilangan 0 (nol).

Tabel 12. Output kuat tekan CTM dengan metode *Tukey*



Tabel 13. Output kuat tekan CTM dengan metode Fisher



Sedangkan hasil uji Fisher pada Tabel 4.18 memperlihatkan perbedaan yang signifikan terhadap faktor kontrol kuat tekan pada kelembaban 22,79, hal tersebut ditunjukkan oleh seluruh variasi kelembaban yang tidak mencakup bilangan 0 (nol).

Hasil Uji F Kuat Tarik Belah Dengan Compression Testing Machine (CTM)

Tabel 14 Hasil uji F manual kuat tarik belah

Sumber Variance	dk	SS	MS	F
Antar Kelompok	10	5,50	0,55	1,23
Dalam Kelompok	22	9,88	0,45	
Total	32	15,38		

Tabel 15 Output program minitab terhadap kuat tarik belah beton

Source	DF	SS	MS	F	P
kelembaban	10	5,492	0,549	1,23	0,328
Error	22	9,850	0,448		
Total	32	15,342			

S = 0,6691 R-Sq = 35,804 R-Sq(Adj) = 6,614

Hasil running program minitab pada Tabel 4.19 menunjukkan nilai F sama dengan nilai F hitung yaitu 1,23 yang berarti dapat dipastikan tidak terdapat kesalahan dalam perhitungan manual. Nilai F hitung kemudian dibandingkan dengan F tabel distribusi dengan menggunakan tingkat kesalahan sebesar 5% ($\alpha = 0,05$) yang diperoleh nilai F tabel sebesar 2,30. Karena pada hasil F hitung sebesar 1,23 yang menunjukkan

bahwa nilainya lebih kecil dari F tabel sebesar 2,30, maka hipotesis 0 (nol) diterima, dengan menyimpulkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang signifikan kuat tarik rata-rata terhadap variasi kelembaban pada beton.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Pengaruh kelembaban terhadap kuat tekan beton dengan metode *non destructive test (hammer test)* dan *destructive test (Compression Testing Machine)* menunjukkan pengaruh yang signifikan, hal ini dibuktikan dengan hasil analisis statistik dengan one way ANOVA.
- 2) Pengaruh kelembaban terhadap kuat tarik belah beton dengan metode *destructive test (Compression Testing Machine)* menunjukkan pengaruh yang tidak signifikan, hal ini dibuktikan dengan hasil analisis statistik dengan one way ANOVA.
- 3) Nilai pantul *hammer test (f'r)* berbanding lurus dengan nilai kuat tekan beton dengan CTM ($f'c$) terhadap pengaruh kelembaban (m), dan didapatkan korelasi nilai pantul terhadap kuat tekan beton dengan CTM adalah $f'c = \frac{-202,7 f' r + 9795}{(1+m)}$
- 4) Nilai kuat tekan *hammer test* lebih rendah dibanding *Compression Testing Machine* sebesar 8,90 MPa pada kelembaban 40%, dan semakin besar selisihnya seiring bertambahnya kelembaban permukaan beton, dan didapatkan korelasi kuat tekan *hammer test* beton mutu tinggi dengan CTM adalah $f'c = \frac{-119,4 f' ch + 6677}{(1+m)}$.
- 5) Pada setiap peningkatan kelembaban sebesar 10% terjadi penurunan kuat tekan sebesar 7,68% untuk kuat tekan *hammer test* dan 2,86% untuk kuat tekan

Compression Testing Machine. Berdasarkan penurunan tersebut, karena CTM merupakan pengujian kuat tekan yang meninjau keadaan sebenarnya dari keseluruhan sifat beton, sehingga efek penurunan kuat tekan akibat pengaruh kelembaban mengacu pada penurunan yang terjadi pada hasil pengujian CTM.

- 6) Pada berbagai variasi kelembaban, rasio kuat tarik belah terhadap kuat tekan berkisar antara 8,481% - 11,842%, dan hubungan kuat tarik belah dengan kuat tekan berkisar $0,57 \sim 0,76 \sqrt{f'c}$ dengan rata-rata $0,66 \sqrt{f'c}$ dan didapatkan korelasi kuat tarik belah (f_t) terhadap kuat tekan beton *Compression Testing Machine* ($f'c$) terhadap variasi kelembaban (m) adalah

$$f_t = \frac{-425,1\sqrt{f'c} + 3153}{(1+m)}$$

Saran

- 1) Perlunya penelitian lanjutan dengan mendapatkan kelembaban dengan persentase nol yang akan dijadikan persen kontrol mutu beton yang diuji.
- 2) Perlunya penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh mutu beton ringan terhadap pengaruh kelembaban.
- 3) Perlunya penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh mutu beton recycle agregate (RCA) terhadap pengaruh kelembaban.

DAFTAR PUSTAKA

ACI Committee 228, 1998, *In Place Methods to Estimate Concrete Strength*, American Concrete Institute.

Agency, IAE, 2002, *Guidebook On Non-Destructive testing Of Concrete Structures Training Course Series No.17*. Australia: Industrial Application and Chemistry Section.

ASTM C 805, *Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete*. United States.

British Standard, 1983, *Testing Concrete Part 117 Method for Determination of Tensile Splitting Strength*, Amendment No.1 Publish and Effect from 31 July 1989.

Chen, Huang, and Zhou, 2012, *Effect of Moisture Content on Compressive and Split Tensile Strength Concrete*, Indian Journal of Engineering and Material Sciences Vol.19 December 2012 pp 427-435

Guang, L. 2004, "The Effect Of Moisture Content On The Tensile Strength Properties Of Concrete", A Thesis of Master Engineering from The University Of Florida.

Hanachi, S. & Guatteche, M.G., 2012, "Application of the Combined Method for Evaluating the Compressive Strength of Concrete on Site". Open Journal of Civil Engineering. pp. 16-21.

Mahmoudipour, M. 2009, "Statistical Case Study On Schimidt Hammer, Ultrasonic And Core Compression Strength Test Results Performed On Cores", obtained from Behbahan Cement Factory in Iran : 5th International Workshop of NDT Experts.

Shoukry, William, Dwonie, and Riad, 2011, *Effect of Moisture and Temperature on the Mechanical Properties of Concrete*, Jurnal ELSEVIER Construction and Building Materials 25.

SNI 03 - 4430-1997, *Pengujian Elemen Struktur Beton dengan Alat Palu Beton Tipe N dan NR*, Badan Standar Nasional Indonesia.

SNI 03 - 2834 - 2002. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Bandung, Badan Standar Nasional Indonesia.

SNI 03-1974. 1990, *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Beton*, Badan Standar Nasional Indonesia, Jakarta

Neville, A.M. 1999. *Properties of Concrete Fourth and Final Edition*, Licensing Agency, London.

Irianto, A., 2004. *Satistik Konsep Dasar Aplikasi dan Pengembangannya*, Kencana, Jakarta

Sulistya, S., 2014, *Tata Cara Pengujian Hammer test dan Ultrasonic Pulse*

Velocity, Jurusan Teknik Sipil.
Politeknik Bandung.
Tjokrodinuljo, K, 1996, *Teknologi Beton*.
NAFIRI, Yogyakarta.